المعايير والقيود التصميمية

مقدمة

يدرس علم الطرق الأسس والمبادئ والخطوات التي يتبعها المهندسون لتخطيط وتصميم وإنشاء الطرق وتحديد المتطلبات الضرورية اللازمة لها. ويشمل تحديد خطوط الانتقال وتصميم المنحنيات الأفقية والرأسية وتصميم الانحدارات وتحديد المقاطع العرضية والميول الجانبية ووضع عناصر جسم الطريق والقيام بحساب كميات الحفر والردم، وتصميم طبقات الرصف. ويتطلب الأمر دراسة المواد وتحديد خواصها وصلاحيتها لبناء طبقات الرصف، بالإضافة إلى تصميم الخلطات الإسفلتية ووضع المواصفات اللازمة لطرق الإنشاء والخلط والفرش والدحل، وفحص الطبقات والمواد وتحديد درجة الدمك وغير ذلك.

نبذة تاريخية

لقد ظهرت أول الطرق في التاريخ في العالم القديم في بلاد ما بين النهرين، ويرجع ذلك إلى عام ٣٥٠٠ قبل الميلاد، وظهرت في جزيرة كريت في البحر المتوسط طرق حجرية السطح في عام ١٥٠٠ قبل الميلاد، كما أنشئت طرق بين مصر وبابل بعد عام ٥٣٩ قبل الميلاد. أما في العالم الغربي فلقد وجدت آثار تدل على وجود طرق في عهد المايان والازتك في أمريكا الوسطى والجنوبية. وفي الرومان ظهرت شبكة مكثفة من الطرق الحجرية عام ٣٢١ قبل الميلاد تم إنشاؤها بوسائل شاقة لربط الإمبراطورية الرومانية، والملاحظ أن كثيرا من هذه الطرق مازال قائما حتى الآن. وعلى الرغم من أن قليلا من أعمال بناء الطرق المميزة قد تمت في انجلترا قبل القرن الثامن عشر فإن أسس قوانين تنظيم وإنشاء الطرق بدأت في الظهور في انجلترا وبعدها في أمريكا في تلك الأثناء. وتعد الفترة من عام ١٩٢٠ حتى الآن هي عصر السيارة، حيث أصبح يعتمد عليها بالدرجة الأولى في نقل البضائع والأشخاص، مما أدى إلى إنشاء شبكات مكثفة من الطرق في أنحاء العالم. ومع تطور صناعة السيارات وزيادة حمولاتها وسرعاتها جعل من الضروري زيادة الاعتناء بمتانة الطرق وقوتها على تحمل أثقال المركبات، وكذلك الاهتمام بمواصفات الطرق وتصميمها بشكل آمن ومريح، فظهرت علوم جديدة تماما في مجالات تخطيط وتصميم الطرق وكذلك في مجال التربة والمواد المستخدمة في إنشاء الطرق، بالإضافة إلى التقدم الكبير الذي حدث في الآلات المستخدمة في الإنشاء وفي إدارة أعمال الإنشاء نفسها وفي أعمال الصيانة وفي التحكم في حركة المرور، مما جعل تصميم الطرق وصيانتها الآن أكثر كفاءة وأقل تكلفة.

أهمية الطرق وأنواعها

يعتبر قطاع النقل والمواصلات من القطاعات الناهضة جدا للاقتصاد الوطني لما يوفره من تأمين حركة نقل الركاب والبضائع على النطاقين المحلي والدولي، وما يلعبه من دور رائد في دفع حركة الاقتصاد وتقديم الخدمات للقطاعات الإنتاجية والخدمية الأخرى، كما يوفر هذا القطاع فرصا للاستثمار وإيجاد فرص للعمل. فبواسطة الطرق نتمكن من نقل الحاصلات الزراعية من مراكز إنتاجها إلى موانئ التصدير وبواسطتها نتمكن من نقل البضائع والسلع المصنعة والمستوردة من البلاد الأجنبية إلى مراكز الاستهلاك في داخل البلاد وبواسطتها ينقل الأشخاص من أي مكان في العالم إلى مكان آخر. فلجميع هذه الأسباب أصبحت مشاريع الطرق من المشاريع المهمة في مجتمعنا الحاضر لا تنقص أهميتها عن كثير من المشاريع الحيوية الأخرى وأصبحت دراسة الطرق وتصميمها الهندسي وإنشائها وصيانتها من المواضيع الهامة التي يحتاج إليها المهندس في حياته المهنية.

وتشمل أنظمة الطرق أنواعا ودرجات متعددة من الطرق تختلف مسمياتها بحسب أهميتها وسعتها والأداء الذي تؤديه والغرض الذي أنشئت من أجله. وتتدرج مختلف أنواع الطرق من ذات السرعة العالية والحجم الكبير إلى الشوارع المحلية بالمناطق الخلوية التي تحمل حركة مرورية قليلة. وحسب نظام الطرق السعودي يمكن تلخيصها في ثلاثة أقسام رئيسة وهي:

- الطرق الرئيسة: وهي تلك الطرق التي تربط بين مدن المملكة الكبرى وتحدد برقمين كما هو موضح في الشكل (١- ١).
- الطرق الثانوية: وهي تلك الطرق التي تربط بين المدن المتوسطة الأهمية ومن ثم تربطها مع شبكة الطرق الرئيسة وتحدد بثلاثة أرقام كما هو موضح في الشكل (١- ١).
- الطرق الفرعية: وهي تلك الطرق التي تربط بين القرى والهجر والمزارع وغيرها مع الطرق الأخرى وتحدد بأربعة أرقام كما هو موضح في الشكل (١- ١).

طريق رئيس

طريق ثانوي

طريق فرعي

شكل (١- ١): لوحات إرشادية لأقسام الطرق.

وبالإضافة إلى هذه الأنواع الثلاثة توجد تعريفات دقيقة لأنواع أخرى من الطرق مثل الطريق السريع والطريق الرئيس وطريق الخدمة والطرق الزراعية، وعلى وجه العموم فإنه من الممكن التعرف على أي نوع من أنواع الطرق من واقع الاسم المطلق عليه.

الطرق في المملكة العربية السعودية

يعد التطور المذهل الذي شهده قطاع النقل والمواصلات في المملكة العربية السعودية من الإنجازات والعلامات البارزة في التجربة السعودية التنموية، حيث كان التنقل في الماضي من شرق المملكة إلى غربها أو من شمالها إلى جنوبها أو حتى بين المناطق الداخلية أمرًا شاقّاً يستغرق عشرات الأيام، وذلك نظرًا لاتساع المساحة الجغرافية وتباعد الحواضر عن بعضها البعض ، وتنوع التضاريس ووعورة مسالكها إضافة إلى قلة الطرق المعبدة وندرة وسائل النقل الحديثة. وقد بدأت الجهود المباركة في العمل على تطوير وسائل المواصلات ومد الطرق منذ عهد الملك عبدالعزيز - رحمه الله - وقد أخذ هذا التحسن في التطور تدريجيّاً فشق العديد من الطرق في المناطق الجبلية ومدت الطرق ذات المسار الواحد بين المدن الرئيسة، ولكن التطور المذهل والقفزة الهائلة في مجال بناء شبكة الطرق الرئيسة ووسائل النقل قد ظهرت بوادره منذ أوائل التسعينات الهجرية أي منذ بداية تنفيذ خطط التنمية ثم اكتملت معظم مرافق الطرق ووصلت إلى أوج اتساعها في عهد خادم الحرمين الشريفين الملك فهد بن عبد العزيز آل سعود - رحمه الله - فأصبح الانتقال من شرق المملكة إلى غربها أو من شمالها إلى جنوبها أمرًا ميسورًا نظرًا لجهود الدولة البارزة في هذا المجال، حيث ربطت معظم مدن المملكة بعضها ببعض بشبكة من الطرق الرئيسة تربط شرق البلاد على ساحل الخليج العربي بغربها على ساحل البحر الأحمر وشمالها بجنوبها إضافة إلى شبكات الطرق الداخلية التي تربط المدن مع بعضها البعض وتصل بين مناطق المملكة الداخلية. وحسب البيانات المنشورة لوزارة النقل السعودية فقد بلغت أطوال شبكة الطرق المعبدة بالمملكة بنهاية عام ١٤١٩ هـ نحو ٤٥٥٠٠ كلم وتربط هذه الشبكة ذات المواصفات العالية جميع المدن وغالبية القرى والهجر. وقد ساهمت هذه الطرق ولله الحمد في عملية البناء والتنمية التي عمت مختلف أرجاء المملكة فانتشرت الخدمات المقدمة للمواطنين في جميع المجالات الصحية والتعليمية والزراعية والاجتماعية والبناء والعمران.

التصنيف الوظيفي للطريق

تقسم الطرق عادة من حيث التخطيط والتصميم والإشراف إلى أربعة أقسام رئيسة وهي:

١. **الطرق السريعة** (Freeway Systems): وهي طرق شريانية مخصصة لخدمة المرور الطولي العابر بين المدن المتوسطة والمدن الكبرى ويسمح فيها بسرعات عالية للعربات ويكون حجم المرور فيها مرتفعا جدًا ويمنع وصول الناس والسيارات من الجوانب إلى هذه الطرق. ويتم الدخول والخروج من وإلى هذه الطرق من خلال نقاط محددة مدروسة ومتباعدة، بحيث تدخل المركبات أو تخرج تدريجيًا دون أن تعرض المركبات الأخرى التي على الطريق إلى الخطر أو إلى التخفيض من سرعاتها.

٢. **الطرق الرئيسة** (Major Arterial Systems): وهي طرق شريانية سريعة تستخدم للمرور الطولي العابر بين المناطق المختلفة وعبورًا إلى المدن.

٣. **شوارع التجمع** (Collector Street Systems): وتستعمل هذه الطرق لربط شبكات الطرق الرئيسة مع الشوارع المحلية.

٤. **شوارع محلية** (Local Street Systems):وهي طرق داخلية تستعمل أساساً لخدمة المرور المحلي وربط مواقع السكن أو الأعمال أو الممتلكات المجاورة.

حرم الطريق

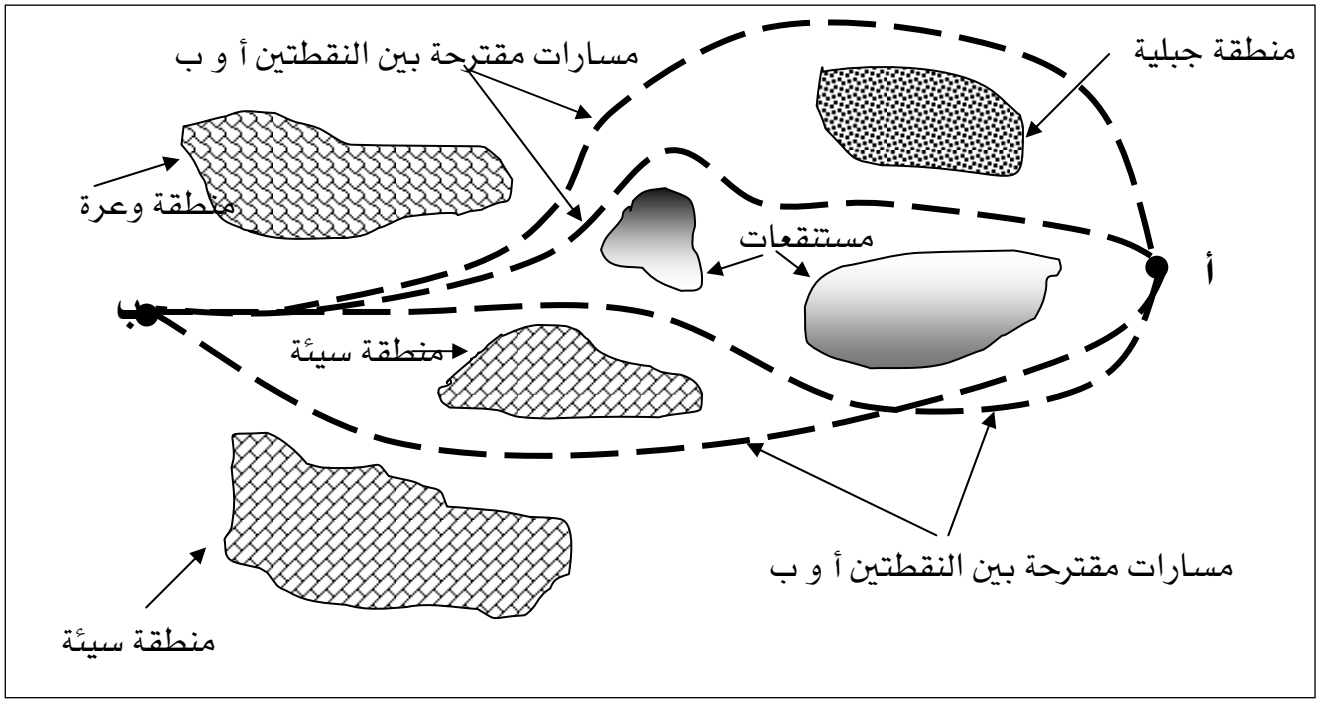
هو كامل العرض المخصص للطريق بجميع أجزائه بالإضافة إلى عرض إضافي يخصص للتوسع في المستقبل. ويجب أن يكون هذا الحرم بعرض كاف لاستيعاب جميع أجزاء قطاعات الطريق المختلفة والتي سيتم التعرض لها بالتفصيل في الباب الرابع.

الطبوغرافية وطبيعة المنطقة

يتوقف اختيار مسار الطريق على عوامل عديدة من أهمها طبوغرافية المنطقة التي سينشأ عليها الطريق حيث تؤثر طبيعة الأرض وتضاريسها على جميع العناصر الأساسية في التصميم مثل الانحدارات والمنحنيات الأفقية والمنحنيات الرأسية ومسافات الرؤية. وحتى نحصل على مسارات آمنة وبأقل التكاليف يجب توفير جميع البيانات المساحية الخاصة بموقع المشروع وكذلك نوع وطبيعة الأراضي المقترحة لمسار الطريق، حيث توفر هذه البيانات كمّاً هائلاً من المعلومات التي تتوقف عليها جميع أعمال التخطيط والتصميم لمشاريع الطرق. وتشمل الأعمال المساحية التي تتطلبها عمليات تخطيط الطرق المراحل التالية:

١) دراسة الخرائط:

هنالك الكثير من المعلومات والبيانات الأساسية التي يمكن الحصول عليها من خلال الخرائط المتوفرة. وتتم في هذه المرحلة الأولية الاستعانة بجميع الخرائط الطبوغرافية والصور الجوية والتخطيطات والتقارير والمعلومات المتوفرة للشريط الأرضي الخاص بمشروع الطريق للحصول على المعلومات والبيانات اللازمة لأعمال التخطيط والتصميم. ويمكن أن تكون المقاييس المناسبة للخرائط والصور المستخدمة في هذه المرحلة في حدود (١:٥٠٠٠). أما بالنسبة لعرض المنطقة التي يجب أن تشملها الدراسات الطبوغرافية فتتراوح بين (٠,٤) و (٠,٦) من طول المسافة بين نقطتي بداية المسار المقترح ونهايته. وتستخدم الخرائط والصور في تحديد التحكمات المبدئية مثل الممرات الجبلية أو المعابر المناسبة للأنهار وتوقيع العوائق الرئيسة التي يصعب إزالتها مثل المقابر والمنشآت الصعبة. وبعد جمع وتحليل كل المعلومات والبيانات الأولية يتم وضع تصور مبدئي لعدد من المحاور للطريق وتوقيعها على الخرائط الطبوغرافية المتوفرة كما هو موضح في شكل (١- ٢).



شكل (١- ٢): اقتراح مسارات بين موقعين أ و ب.

٢) الاستطلاع باستخدام المساحة الجوية:

قد تكون الخرائط المستعملة في المرحلة الأولية قديمة نوعاً ما أو غير دقيقة بسبب التغيرات التي حدثت على الموقع، وبالتالي تكون المعلومات والبيانات المعتمدة في الدراسة المكتبية غير كافية لتحديد المسارات البديلة للطريق بشكل دقيق. وعليه فإنه من الضروري القيام بعمليات استطلاع جديدة على الموقع باستخدام المساحة التصويرية الجوية لتصحيح واستكمال الخرائط المتوفرة. وتعد الصور الجوية الرأسية التي تؤخذ بواسطة آلة التصوير الموجهة إلى أسفل أكثر الصور المفيدة لغرض إعداد خرائط الطرق . وتتم عملية تصوير الأماكن المطلوب تغطيتها في عدة طلعات جوية متوازية ومتداخلة في اتجاه الطيران وتكون بمقاييس رسم مختلفة حسب أهمية المرحلة الدراسية للمشروع ونوعية البيانات اللازمة لذلك كما هو موضح في الجدول (١- ١).

جدول (١- ١): مقاييس الصور الجوية التي تستخدم في أعمال تخطيط الطرق.

المرحلة	مقاييس الصور الجوية	مقاييس المخططات المستنبطة من الصور	الفترة الكنتورية (متر)
التخطيط الأولي	من ١:٢٥٠٠ إلى ١:١٠٠٠٠٠	من ١:١٠٠٠٠ إلى ١:٥٠٠٠٠	من ٥ — ١٠ إلى ١٠ — ٥
الدراسات والتصاميم الأولية	من ١:١٥٠٠٠ إلى ١:٢٥٠٠٠	من ١:٥٠٠٠ إلى ١:١٠٠٠٠	من ٢ — ٥ إلى ٥ — ١٠
الدراسات والتصاميم النهائية	من ١:٤٠٠٠ إلى ١:١٠٠٠٠	من ١:١٠٠٠ إلى ١:٢٥٠٠٠	من ٠,٥ — ١ إلى ١ — ٥

وتلعب المساحة الجوية دورا بارزا في مجال هندسة الطرق حيث يجري استخدامها في تفسير الظواهر الطبيعية والاصطناعية واستنباط الحجم الهائل من المعلومات الطبوغرافية والجيولوجية والهيدرولوجية ودراسة حركة المرور وتحديد حرم الطريق وفي تخطيط محور الطريق وغيرها من خلال المتخصصين في المجالات المختلفة وبالاستعانة بأجهزة التجسيم المتنوعة. وتساعد الصور الجوية على التعرف على تفاصيل

الطبيعة البيئية والهيدرولوجية والخدماتية للموقع المراد إنشاء الطريق عليه، بحيث يؤدي ذلك إلى استبعاد بعض الخيارات المقترحة ومن ثم التركيز على عدد أقل من المحاور المقترحة.

٣) المساحة الاستطلاعية:

بعد تحديد وتوقيع المسارات البديلة للطريق المقترح على الخرائط يجب الرجوع إلى الطبيعة للتعرف على الموقع الفعلي لكل محور مقترح. فمهما كانت الخرائط الطبوغرافية والصور الجوية كاملة ووافية بالمعلومات إلا أنه من الضروري جداً أن يقوم المهندس بالاستطلاع والكشف الشخصي على كل محور وذلك لجمع المعلومات الضرورية التي لم تظهر على الخرائط بشكل واضح والتي ربما يتطلب بسببها تعديلات لازمة للمحاور المقترحة. ومن المساعد جدا أخذ الخرائط المتوفرة للمنطقة وكذلك الصور وبعض أدوات التجسيم وذلك لتسهيل عملية البحث عن المحاور المناسبة لمسار الطريق. والمعلومات الواجب جمعها من عملية الاستطلاع هي:

١. تحديد بشكل أدق الشريط الذي يتوجب إجراء مسح طبوغرافي شامل له.
٢. تحديد كل العوائق الرئيسة التي تعترض لها المحاور المقترحة والتي لم تظهر بوضوح على الخرائط مثل المنحدرات الحادة والوديان والبحيرات والمنشآت الحديثة.
٣. تحديد الممرات المائية المتقاطعة مع المسارات وبيان عددها وأبعادها وجيولوجيتها ونوعية المنشآت التي ستتطلبها.
٤. تحديد نوع وخواص التربة التي سيمر بها المسار وكذلك درجة ثباتها وقابليتها للانزلاق.
٥. تحديد أماكن مواد الإنشاء ومصادر المياه اللازمة.
٦. تحديد الأهمية الاقتصادية للمسارات المقترحة للطريق.

وبناء على عملية الاستطلاع هذه يتم تعديل وتصحيح كل المعلومات والبيانات غير الواضحة أو الخاطئة على الخرائط والصور. وبعد دراسة مقارنة ومفاضلة بين المسارات المختارة يتم انتقاء المسار الأفضل للطريق استنادا إلى المعطيات التي تم جمعها وتحديديها بشكل تفصيلي.

٤) المسح المبدئي:

الهدف من المسح المبدئي هو تحديد محور المسار المقترح بأكثر دقة باستخدام أجهزة المساحة المختلفة ويتم ذلك كما يلي:

١. رفع وتوقيع جميع الظواهر الطبوغرافية حول المسار المقترح.

٢. تحديد مناسيب محور المسار وعمل قطاعات عرضية على أبعاد مناسبة.

٣. الحصول على كل البيانات الأساسية الخاصة بنوع التربة وخواصها ومدى ملاءمتها للمنشأة.

٤. تحديد عمق المياه الجوفية ومعرفة مدى تأثيرها على طبقات الرصف.

٥. الحصول على المعلومات الهيدرولوجية اللازمة لتحديد عدد وحجم مصارف المياه السطحية المتقاطعة مع المسار.

٦. تحديد قوة الرياح التي تكون في اتجاه المسار.

وبناء على المعلومات والبيانات المتحصل عليها من عملية المسح المبدئي يتم إنتاج مخططات طبوغرافية تفصيلية بمقاييس من (١:٥٠٠٠) إلى (١:١٠٠٠) وإنجاز البنود التصميمية والحسابات المتعلقة بالمقاطع العرضية والطولية للمسار المعتمد. ويجب أن يتم العمل المساحي في هذه المرحلة بشيء من الدقة والشمولية بحيث يسمح بتعيين أفضل المسارات التي يمكن أن يمر بها مسار الطريق.

٥) المساحة التفصيلية:

بعد استكمال عمليات المسح المبدئي واختيار المسار النهائي المفضل يشرع في عمليات المساحة التفصيلية اللازمة لتخطيط وتوقيع محور الطريق على الطبيعة. ويتم ذلك بوضع أوتاد خشبية ثابتة على مسافات متقاربة (في حدود ٣٠ متر) على محور الطريق. وتجرى عمليات مسح أرضي مكثفة وبأكبر دقة للحصول على جميع المعلومات اللازمة لعمل دراسة كاملة ومفصلة على المسار المقترح للطريق. وكذلك تعمل قطاعات عرضية متقاربة خاصة في مناطق المنحنيات والانحدارات وتحدد معابر المجاري المائية والوديان بتفصيل كامل وترسم خرائط التربة بدقة من واقع مسح شامل للموقع.

حجم المرور

يقاس حجم المرور على طريق ما بعدد المركبات التي تمر بنقطة أو محطة على الطريق خلال فترة زمنية محددة. ويعتبر من العوامل الأساسية التي يتوقف عليها التصميم الهندسي للطرق على أن يشمل حجم المرور الحالي والمتوقع مستقبلا. ويختلف حجم المرور عن كثافة المرور التي هي عبارة عن عدد المركبات التي تسير على مسافة معينة من الطريق. وكما يتغير حجم المرور من ساعة لأخرى، وعليه فيجب حساب

حجم المرور على مدار السنة على أساس الحد الأدنى والحد الأقصى للمرور في كل ساعة من ساعات اليوم الواحد، ثم في كل يوم من أيام الأسبوع ومن هنا يتم تحديد الشهر الذي يصل فيه المرور إلى أعلاه أو أدناه. ويمكن التعبير عن حجم المرور بحجم المرور اليومي المتوسط وحجم المرور الساعي التصميمي وحجم المرور المستقبلي التصميمي ويحسب كالتالي:

١) حساب حجم المرور اليومي المتوسط:

وهو عبارة عن المعدل السنوي اليومي للمرور ويعد من المؤشرات الرئيسة لتحديد حجم المرور على الطريق. ويحسب حجم المرور اليومي المتوسط كالتالي:

$$\text{حجم المرور اليومي المتوسط} = \frac{\text{حجم المرور السنوي}}{365}$$

وكما هو متوقع فإن حجم المرور يتغير تبعا لكل ساعة من ساعات اليوم، وبين يوم وآخر من أيام الأسبوع ولكل شهر من أشهر السنة. وكذلك فإن خصائص حجم المرور تتغير هي الأخرى، فنوع ونسبة المركبات يعتمدان على الوقت من اليوم والاتجاه والمنطقة. ولذلك فإنه من المهم جدا تحديد نسبة تدفق المرور لكل اتجاه خلال ساعة الذروة، وهي مهمة عند تصميم سعة الطريق. والمثال المدرج في الجدول (١- ٢) يوضح الفرق بين حجم المرور ونسبة تدفق المرور لمدة ساعة من الدراسة:

جدول (١- ٢): مثال يوضح الفرق بين حجم المرور ونسبة تدفق المرور لمدة ساعة.

التوقيت	عدد العربات المارة	نسبة تدفق المرور (عربة/الساعة)
٧,٠٠ – ٧,١٥	١٠٠٠	٤٠٠٠
٧,١٥ – ٧,٣٠	١١٠٠	٤٤٠٠
٧,٣٠ – ٧,٤٥	١٠٠٠	٤٠٠٠
٧,٤٥ – ٨,٠٠	٩٠٠	٣٦٠٠
المجموع	**٤٠٠٠**	

فمن خلال البيانات المدرجة في الجدول أعلاه نلاحظ أن نسبة تدفق المرور القصوى قد وصلت إلى ٤٤٠٠ عربة في الساعة في فترة الذروة (ما بين ٧,١٥ و ٧,٣٠) رغم أنه لم يمر على الطريق سوى ٤٠٠٠ عربة خلال الساعة الكاملة. من هنا يتضح أن التصميم على أساس حجم المرور اليومي المتوسط دون الأخذ في الاعتبار فترات الذروة قد يؤدي إلى الاختناق في المرور عند ساعات الذروة. كما أن تصميم أي الطريق بحيث لا يكون مزدحماً على الإطلاق لن يكون اقتصاديا وعليه فإنه يجب اختيار حجم المرور التصميمي بعد دراسة مفصلة ودقيقة.

٢) حساب حجم المرور المستقبلي:

إن حجم المرور يزداد يوماً بعد يوم مع زيادة العمران والسكان وعليه فإنه تجب مراعاة الزيادة المستقبلية في كمية المرور عند تصميم قطاع الطريق والأخذ في الاعتبار مايلي:

١. حجم المرور الحالي على الطريق.
٢. الزيادة الطبيعية في عدد المركبات الناتجة عن الزيادة في عدد السكان والتطورات الاقتصادية والسياحية والزراعية والصناعية للمنطقة.
٣. الزيادة الناتجة عن إنشاء الطريق.

ويحسب حجم المرور التصميمي لفترة زمنية كافية باستخدام العلاقة التالية:

$$V_n = V_D(1+e)^n$$

حيث:

V_n: حجم المرور اليومي التصميمي.

V_D: حجم المرور الحالي.

e: معدل الزيادة السنوي في حجم المرور.

n: عدد السنوات.

مثال:

إذا كان حجم المرور الحالي لطريق محلي 15000 عربة في اليوم، فما هو حجم المرور اليومي التصميمي بعد عشرة سنوات مع العلم أن معدل الزيادة السنوية في حجم المرور ٣٪.

الحل:

$$V_n = V_D(1+e)^n$$

V_D : حجم المرور الحالي = 15000 عربة

(e): معدل الزيادة السنوية في حجم المرور = ٣٪

(n): عدد السنوات = ١٠ سنوات

$$V_n = V_D(1+e)^n = 15000 \times (1+0.03)^{10} = 20159$$

حجم المرور اليومي التصميمي = ٢٠١٥٩ عربة / يوم

خواص وأداء المركبات على الطريق

هناك عدة أنواع من المركبات منها السيارات الخاصة وحافلات النقل والشاحنات الصغيرة والشاحنات الكبيرة وتختلف هذه المركبات عن بعضها بأبعادها وأحجامها وأوزانها. وتسير جميع هذه الأنواع من المركبات تقريبا على كل الطرق، وعليه يلزم معرفة خصائصها لكي تأخذ في الاعتبار أثناء تصميم الأجزاء المختلفة لقطاع للطريق. ومن الطبيعي أن يتم التركيز على خصائص المركبات الأكثر استخداما للطريق عند التصميم لأنها تشكل النسبة الأكبر من حجم المرور. وتشمل هذه الخصائص:

- وزن المركبة .
- الوزن الواقع على كل محور من محاور المركبة.
- الطول الكلي و العرض الكلي للمركبة.
- ارتفاع المركبة.
- قدرة المركبة.
- البعد بين المحور الأمامي والخلفي للمركبة.
- البعد بين مقدمة المركبة والمحور الأمامي.
- البعد بين مؤخرة المركبة والمحور الخلفي.

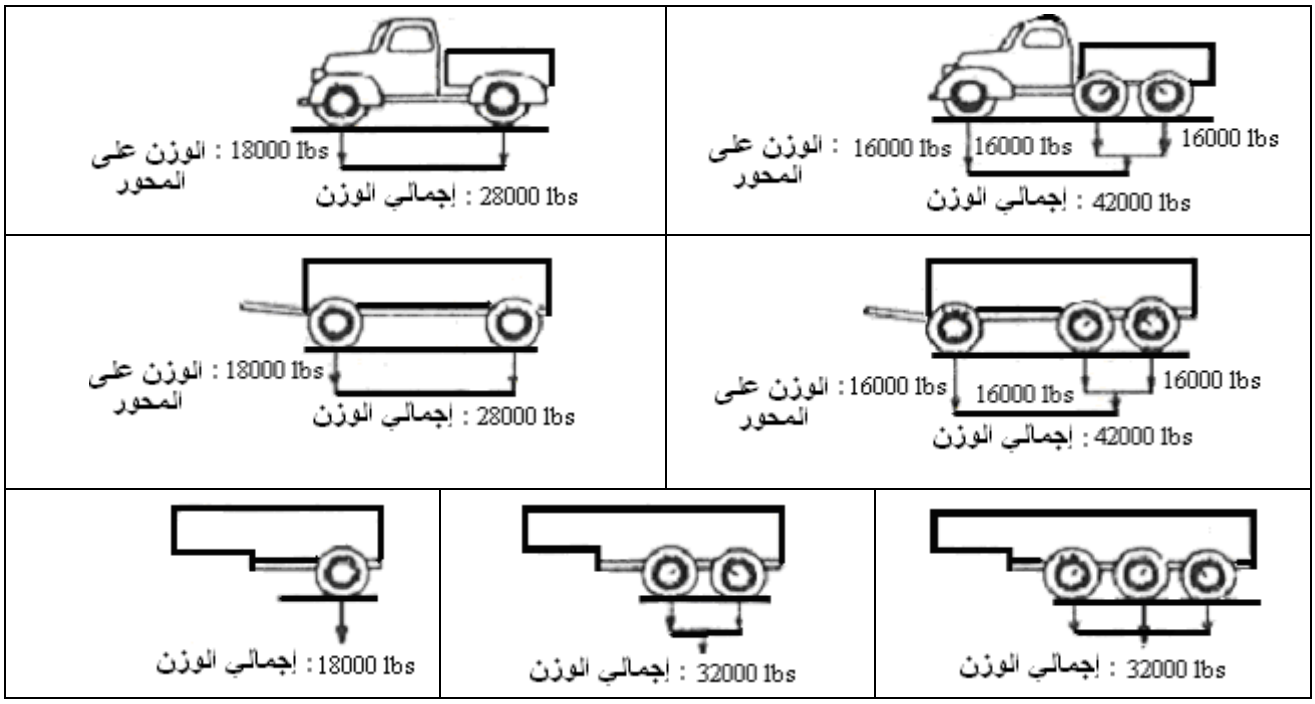
ومن الطبيعي أن يتم التركيز على خصائص المركبات الأكثر استخداما للطريق عند التصميم لأنها تشكل النسبة الأكبر من حجم المرور. وقد بينت الدراسات أن للشاحنات تأثيراً كبيراً على رصف

الطريق ويزداد تأثيرها كلما زاد ثقلها. ومن هنا كانّ بد من التعمق في دراسة أنواع مركبات النقل من حيث أبعادها وعدد محاورها ومدى تأثيرها على الرصف. و يعطي الجدول (١- ٣) الأبعاد الرئيسة للعربات الخاصة ومركبات النقل حسب مواصفات آشتو والشكل (١- ٣) يبين أنواع المركبات والأحمال القصوى الواقعة على محاورها.

جدول (١- ٣) الأبعاد الرئيسة للمركبات حسب مواصفات هيئة آشتو (AASHTO).

أقص بعد مسموح به	عربة خاصة	عربة نقل مسافرين	عربة نقل تجارية (بمقطورة)
الطول الكلي (متر)	5.8	12.1	16.7
العرض الكلي (متر)	2.1	2.6	2.6
الارتفاع (متر)	1.3	4.1	4.1
البعد بين العجل الأمامي والخلفي (متر)	3.4	7.6	6.1
البعد بين مقدمة العربة والعجل الأمامي (م)	0.9	1.2	0.9
البعد بين مؤخرة العربة والعجل الخلفي (م)	1.5	1.8	0.6

عربة نقل تجارية (محوران)	عربة نقل تجارية (٣ محاور)	عربة نقل تجارية بمقطورة (٥ محاور)
عربة نقل تجارية بمقطورة (٥ محاور)	عربة نقل تجارية بمقطورتين (٧ محاور)	عربة نقل تجارية بمقطورة (٩ محاور)



شكل (١- ٣): أنواع المركبات والأحمال القصوى الواقعة على محاورها.

السرعة التصميمية

تعرف السرعة التصميمية على أنها السرعة القصوى الآمنة التي يمكن المحافظة عليها فوق قطاع معين من طريق ما عندما تكون الظروف ملائمة لدرجة تسمح للظواهر التصميمية للطريق بالتحكم. وهناك فرق بين سرعة التصميم والسرعة الحقيقية التي يجب أن تسير عليها المركبات وهي أقل من الأولى بسبب الازدحام والظروف المحيطة بالطريق. ويعد اختيار السرعة التصميمية أمراً بالغ الأهمية لارتباطه بسعة الطريق وأنصاف أقطار المنحنيات الأفقية وحدة الانحدارات ومسافة الرؤية وغيرها من العناصر التصميمية للطريق. فكلما زادت سرعة التصميم كلما كان الطريق مهيئا لاستيعاب أعداد كبيرة من المركبات وكانت منحنياته واسعة وانحداراته غير حادة وزادت فيه مسافة الرؤية.

ويتوقف اختيار السرعة التصميمية على عدة عوامل منها طبوغرافية المنطقة، وحجم المرور، وتركيبة المرور، وتضاريس المنطقة، وقد تتغير على نفس الطريق بسبب التغير في الملامح الطبيعية للطريق، إلا أنه ينصح بتجنب التغييرات المفاجئة في السرعة التصميمية على امتداد أي طريق وبصفة خاصة على الطرق السريعة.

التكلفة والمبالغ المتوفرة

تشمل التكاليف الأولية لإنشاء الطرق أو تحسينها نفقات الأعمال الهندسية والتصميمات وتكاليف التخطيط والمصروفات الأولية للحصول على حرم الطريق وتكاليف إنشاء الطريق والمنشآت والرصف. ويتم تحديد كميات الأعمال التي ستنفذ من خلال المقاطع الطولية والمسقط الأفقي للمشروع بحيث تكون دقة الحسابات عالية، و ذلك لإمكانية تحديد تكلفة المشروع الكلية. وتشمل الحسابات أعمال الحفر والردم والقطع الصخري والأعمال الصناعية وطبقات الرصف، وتشمل طبقات ما تحت الأساس وطبقة الأساس والطبقة التأسيسية البيتومينية والطبقة السطحية وأعمال الأرصفة والإنارة وغيرها. ويتم وضع أسعار تقديرية لكل بند من بنود الأعمال المطلوبة طبقاً لأسعار التنفيذ الشائعة في المنطقة. وهناك اعتبارات يجب أخذها في الحسبان عند دراسة التكاليف وهي:

١. لا يؤخذ في الحساب أي نفقات صرفت قبل بدء الدراسة.
٢. إضافة كل النفقات التي لها علاقة بالمشروع واستبعاد تلك التي ليس لها به علاقة.
٣. إضافة نسبة مئوية محددة لتغطية المصروفات المقدرة للأعمال الإدارية.
٤. كثيرا ما تؤدي مشروعات تحسين الطرق إلى تغيير في نفقات الصيانة والتشغيل السنوية.

اعتبارات السلامة

إن الاهتمام بالسلامة المرورية ورفع مستواها يبدأ منذ الخطوات الأولى لتخطيط الطرق وتصميمها، حيث يأتي التفكير في سلامة الطريق من اختيار مساره الذي يضع في الحسبان تحديد الحد الأقصى الممكن من سلامة حركة المرور. ويراعى ذلك أيضا عند تصميم المنحنيات الأفقية والرأسية وعبور الأودية والشعاب وإنشاء وسائل تصريف المياه. وفي مرحلة التنفيذ يتم تزويد الطريق بكافة وسائل السلامة التي تكفل حماية حركة النقل والمرور مثل اللوحات المرورية (التنظيمية والتحذيرية والتوجيهية) والعلامات الكيلومترية وعلامات الطرق الأرضية كخطوط الدهان وعيون القطط العاكسة وغيرها من العلامات الأرضية التي تحدد الجوانب الخارجية للطريق وتلك التي تفصل بين المسارات، وأضواء التحذير والسياجات المعدنية على جانبي الطريق والجزيرة الوسطية. وفي مرحلة الصيانة يراعى الاحتفاظ بنفس مستوى السلامة على الطرق ومتابعة السلامة المرورية عليها ومحاولة تحسينها عند ظهور أية مشكلات لم يتم أخذها في الاعتبار في المراحل السابقة. كما يجب تأمين سلامة المرور أثناء تنفيذ المشروع ويتم ذلك باتباع الخطوات التالية:

١. وضع لوحات إرشادية على أول الحفرية وآخرها وعند التقاطعات الرئيسة.

٢. تقسيم منطقة الحفريات إلى منطقة تحذير وإشعار متقدم ومنطقة حماية مكان.

٣. توزيع اللوحات الإرشادية على طول الحفر بالمسافات المناسبة لكل عمل وبأماكن ظاهرة.

٤. توفير إضاءة ليلية جيدة ووضع الأسهم المضيئة والعلامات الفسفورية العاكسة عند بداية ونهاية مكان العمل.

٥. وضع جسور لعبور المشاة عند أماكن العمل.

٦. عدم خروج ناتج الحفر أو المعدات عن العرض المسموح به للعمل.

٧. مراعاة رش أتربة الحفر بالماء أثناء العمل حتى لا تتسبب في منع الرؤية.

٨. إزالة الأتربة في نهاية يوم العمل، والمحافظة على نظافة الموقع.

٩. وضع أجهزة امتصاص الصدمات في الأماكن التي يحتمل وقوع اصطدام عندها.

١٠. استخدام الحواجز الخراسانية المطلية بألوان أو شرائط عاكسة في موقع العمل.

الوحدة الثانية : التصميم الأفقي للطرق

الجدارة:

يتعرف المتدرب في هذه الوحدة على مبادئ وخطوات التصميم الأفقي للطرق. حيث يتعلم كيفية حساب مسافات الرؤية اللازمة للإيقاف وللتجاوز ويتعرف على أنواع وعناصر المنحنيات الأفقية.

الأهداف:

عند الانتهاء من هذه الوحدة يكون للمتدرب القدرة على:

١. حساب مسافة الرؤية للتوقف.

٢. حساب مسافة الرؤية للتجاوز.

٣. معرفة أنواع المنحنيات الأفقية وعناصرها.

٤. حساب معدل رفع الظهر عن البطن عند المنحنيات الأفقية.

٥. قراءة المخططات التصميمية للطرق ومعرفة عناصرها المختلفة.

مستوى الأداء المطلوب: إتقان المتدرب لهذه الوحدة بنسبة لا تقل عن ٩٥ ٪.

الوقت المتوقع لإنهاء هذه الوحدة: ٤ ساعات.

متطلبات الجدارة: اجتياز حقيبة المساحة ومعرفة ما سبق دراسته في الوحدة الأولى.

التصميم الأفقي للطرق

٢- ١ مقدمة

يشمل مسار الطريق في المسقط الأفقي سلسلة متتالية من الخطوط المستقيمة يطلق عليها مماسات مربوطة ببعضها بواسطة منحنيات دائرية. ويعرف التصميم الأفقي للطريق على أنه عملية إيجاد الأبعاد الهندسية لكل طريق وترتيب العناصر المرئية للطريق مثل مسافات الرؤية والعروض والمنحنيات الأفقية.

٢- ٢ مسافة الرؤية

تعرف مسافة الرؤية بأنها أقل مسافة تحتاجها العربة للتوقف وهي تسير بسرعة تقترب من سرعة التصميم. وتؤثر مسافة الرؤية تأثيراً مباشراً على سلامة المرور وعلى سعة الطريق. وعليه فإن على المصمم أن يوفر مسافة رؤية كافية يستطيع السائق تجنب أي عوائق مفاجئة قد تقابله أثناء السير على الطريق. وتعد المنحنيات الأفقية والمنحنيات الرأسية وتقاطعات الشوارع من أكثر العوائق التي تؤثر على مسافة الرؤية. ولقد تم عرض المعادلات التالية لحساب مسافة الرؤية للتوقف ومسافة الرؤية للتجاوز بأمان.

٢- ٢- ١ مسافة الرؤية اللازمة للإيقاف (Stopping Sight Distance: *SSD*)

يفضل أن تكون مسافة الرؤية طويلة ما أمكن ذلك ويجب ألاّ تقل عن الحد الأدنى لمسافة التوقف في كل الأحوال، وتشمل هذه المسافة جزأين هما:

١. المسافة (S) التي تسيرها المركبة خلال فترة شعور السائق وخلال تشغيله للفرامل. ولأغراض تصميمية يؤخذ زمن الارتداد الشعوري مع زمن تشغيل الفرامل ٢,٥ ثانية، وعليه فإن:

$$S = 2.5V$$

حيث S: مسافة الرؤية للتوقف (بالمتر)، و V: سرعة العربة (بالمتر / ثانية).

٢. مسافة الفرملة (d) وتحسب كالتالي:

- في حالة طريق مستوٍ: $d = \dfrac{V^2}{2fg}$

حيث:

d: مسافة الفرملة (بالمتر).

g: عجلة الجاذبية الأرضية (بالمتر / ثانية مربع).

V: سرعة العربة (بالمتر / ثانية).

f: معامل الاحتكاك بين العجل وسطح الطريق (وتؤخذ ٠,٤).

- في حالة طريق مائل: $d = \dfrac{V^2}{254(f \pm G)}$

حيث G نسبة الانحدار تقسيم ١٠٠.

وبذلك فإن أدنى مسافة للتوقف (SSD) بالنسبة للطرق من حارتين أو أكثر للمرور في اتجاه واحد أو اتجاهين تحسب كالتالي:

$$SSD = S + d$$

- في حالة طريق مستوية: $SSD = 2.5V + \dfrac{V^2}{2fg}$
- في حالة طريق مائل عند الصعود: $SSD = 2.5V + \dfrac{V^2}{254.(f+G)}$
- في حالة طريق مائل عند الهبوط: $SSD = 2.5V + \dfrac{V^2}{254.(f-G)}$

أما بالنسبة للطرق المكونة من حارة واحدة والمخصصة للمرور في اتجاهين فإن مسافة الرؤية تؤخذ $2SSD$. الجدول (٢- ١) يعطي بعض القيم لمسافة الرباط حسب مواصفات آشتو (AASHTO) في حالة الرصف المبلل والرصف الجاف.

جدول (٢- ١): مسافة الرباط.

السرعة التصميمية (كم / الساعة)	في حالة رصف المبلل		في حالة الرصف الجاف	
	معامل الاحتكاك	مسافة الرباط (متر)	معامل الاحتكاك	مسافة الرباط (متر)
48	0.36	55	0.62	48
64	0.33	80	0.60	72
80	0.31	115	0.58	100
96	0.30	150	0.56	132
104	0.30	165	0.56	149
112	0.29	185	0.55	129
120	0.28	205	0.54	190
128	0.27	230	0.53	212

مثال:

احسب مسافة الرؤية للتوقف في حالة طريق مكون من حارتين ومرور في اتجاهين، علما أن السرعة التصميمية ٦٠ كم / الساعة ومعامل الاحتكاك ٠,٤.

الحل:

V: سرعة العربة = ٦٠ كم / الساعة = ١٦,٦٧ م / ثانية.

f: معامل الاحتكاك بين العجل وسطح الطريق = ٠,٤.

$$SSD = 2.5V + \frac{V^2}{2fg} = 2.5 \times 16.67 + \frac{(16.67)^2}{2 \times 0.4 \times 9.81} = 77.08\,m$$

مثال:

احسب مسافة الرؤية للتوقف لطريق مائل ب ٥ ٪ في حالة الهبوط وفي حالة الصعود، علما أن السرعة التصميمية تساوي ٨٠ كم / الساعة ومعامل الاحتكاك ٠,٤.

الحل:

V: سرعة العربة = ٨٠ كم/الساعة = ٢٢,٢٢ م / ثانية.

f: معامل الاحتكاك بين العجل وسطح الطريق = ٠,٤.

G: نسبة الانحدار تقسيم ١٠٠ = ٠,٠٥

أ) مسافة الرؤية في حالة الهبوط:

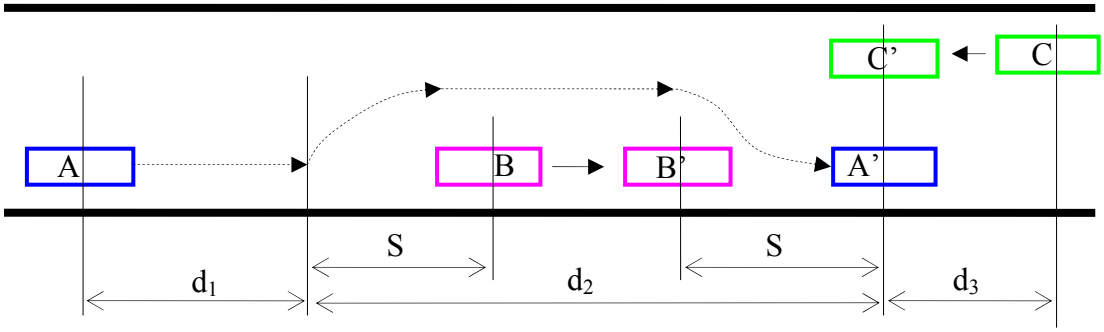
$$SSD = 2.5V + \frac{V^2}{254(f-G)} = 2.5 \times 22.22 + \frac{(22.22)^2}{254 \times (0.4 - 0.05)} = 61.10\,m$$

ب) مسافة الرؤية في حالة الصعود:

$$SSD = 2.5V + \frac{V^2}{254(f+G)} = 2.5 \times (22.22) + \frac{(22.22)^2}{254 \times (0.4 + 0.05)} = 59.87\,m$$

٢- ٢ مسافة الرؤية اللازمة للتجاوز (Passing Sight Distance: *PSD*)

وهي أقل مسافة كافية لإتمام عملية التجاوز بأمان للمركبات ويطلق عليها كذلك الحد الأدنى لمسافة التخطية. وتتوقف مسافة التجاوز في حالة طريق من حارتين على ثلاثة مراحل كما هو موضح في الشكل (٢- ١).



العربات في الوضع الأولي: A, B, C العربات في الوضع النهائي: A', B', C'

شكل (٢- ١): مسافة التجاوز.

١. المسافة الأولى (d_1): وهي المسافة التي تقطعها العربة خلال فترة التردد في العبور.
٢. المسافة الثانية (d_2): وهي المسافة التي تقطعها العربة خلال فترة التجاوز.
٣. المسافة الثالثة (d_3): وتمثل مقدار ما تقطعه العربة القادمة من الاتجاه الآخر خلال فترة التخطية.
٤. المسافة الثالثة (d_4): وهي المسافة المقطوعة للعربة القادمة من الاتجاه الآخر خلال مرور العربة المتخطية.

وتستخدم المعادلات التجريبية التالية لحساب كلٍ من d_1 و d_2 و d_3 و d_4 :

$$d_1 = 0.84(V - M)$$
$$d_2 = 2S + 0.84(V - M)t$$
$$d_3 = 0.28t$$
$$d_4 = \frac{2}{3}d_2$$
$$S = 0.2(V - M) + 6$$
$$t = \sqrt{\frac{2.73\ S}{a}}$$

حيث:

d_1 ، d_2 ، d_3 و d_4 بالمتر.

V: السرعة التصميمية (كم / الساعة).

a: معدل العجلة التسريعية للعربة المتجاوزة ويؤخذ عموما ٤ كم / الساعة / ثانية.

M: مقدار النقص بين السرعة التصميمية والسرعة المفروضة للعربة المتخطية، وتؤخذ ١٦ كم/الساعة.

وبذلك يتم حساب مسافة التجاوز (PSD) كما يلي:

$$PSD = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$$

الجدول (٢- ٢) يعطي بعض القيم التصميمية لمسافات التجاوز حسب مواصفات آشتو (AASHTO).

جدول (٢- ٢): مسافة التجاوز التصميمية.

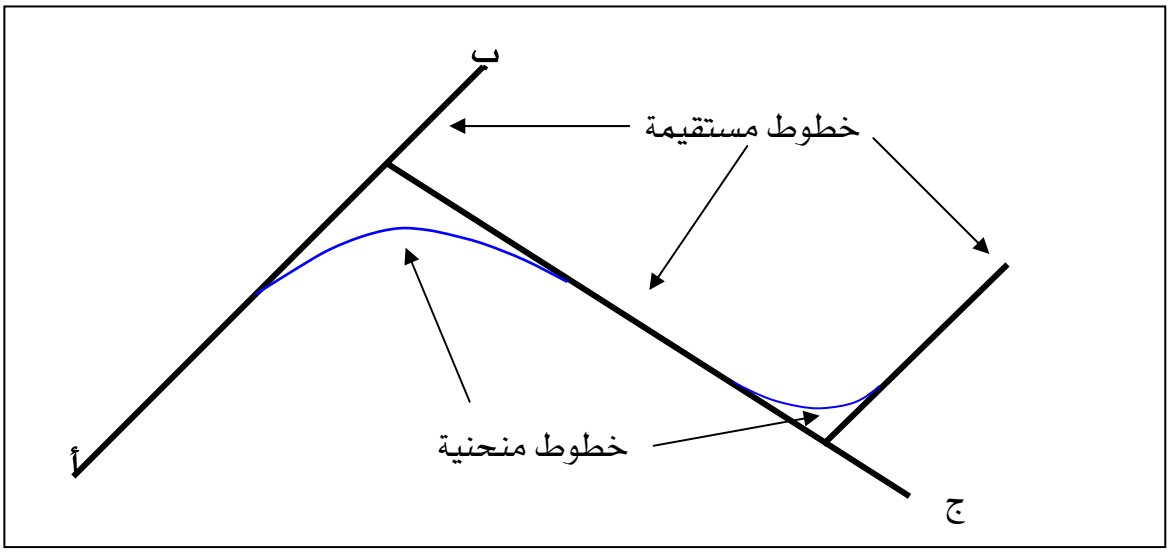
السرعة التصميمية (كم/ الساعة)	48	64	80	96	112	128
السرعة المفروضة للعربة المتخطاة (كم / الساعة)	41	54	65	75	86	94
السرعة المفروضة للعربة المتخطية (كم / الساعة)	58	70	82	91	102	110
مسافة التجاوز (متر)	335	460	550	640	675	835

٢- ٣ التخطيط الأفقي للطريق

تنحصر أعمال التخطيط الأفقي في تصميم الأجزاء المستقيمة والأجزاء الدائرية المكونة للطريق، وذلك بحساب أطوال أضلاع المسارات وتحديد زوايا انحرافها ونقاط تقاطعها وتصميم المنحنيات الأفقية وتحديد أطوالها وحساب أنصاف أقطارها وميولها. ومن أهم العوامل التي تؤثر في التخطيط الأفقي هي السرعة التصميمية والمنحنيات الأفقية. وللحد من أخطار القيادة ولتوفير أكثر راحة للسائق يجب أن يكون التخطيط منتظما بحيث يتجنب الانتقال المفاجئ من الأجزاء المستقيمة إلى المحنيات الحادة أو الانتقال المفاجئ من المنحنيات المنبسطة إلى المنحنيات الحادة وتجنب المنحنيات المعكوسة.

٢- ٣- ١ المنحنيات الأفقية

في الكثير من الأحيان يواجه المصمم للطرق مهمة وصل الخطوط المستقيمة والمتقاطعة لمسار الطرق بمنحنيات غايتها تفادي التغيير المفاجئ في الاتجاه وتسهيل الانتقال التدريجي بين هذه الخطوط المتقاطعة. وتأخذ المنحنيات الأفقية أشكل أقواس دائرية أو حلزونية تربط بين الاتجاهين المستقيمين والمختلفين كما هو موضح في الشكل (٢- ٢) والشكل (٢- ٣)، وحتى لا تنتقل العربة من الاتجاه الأول (أب) إلى الاتجاه الثاني (ب ج) بشكل فجائي، فإن ذلك يحتاج إلى الانتقال التدريجي من خلال خط منحني يربط الاتجاهين.



شكل (٢- ٢): ربط خطوط مستقيمة بأقواس دائرية.

شكل (٢- ٣): نموذج عن منحنيات أفقية.

ويمكن تقسيم المنحنيات الأفقية إلى:

١. منحنيات دائرية بسيطة مكونة من قوس دائري واحد يربط الخطين المستقيمين.

٢. منحنيات دائرية مركبة: حيث يتم ربط الخطين المستقيمين بأكثر من قوس دائري.

٣. منحنيات دائرية عكسية: حيث يتم ربط الخطين المستقيمين بعدة أقوس ليست في جهة واحدة.

وهناك عدة عوامل تؤثر في تخطيط المنحنيات الأفقية أهمها:

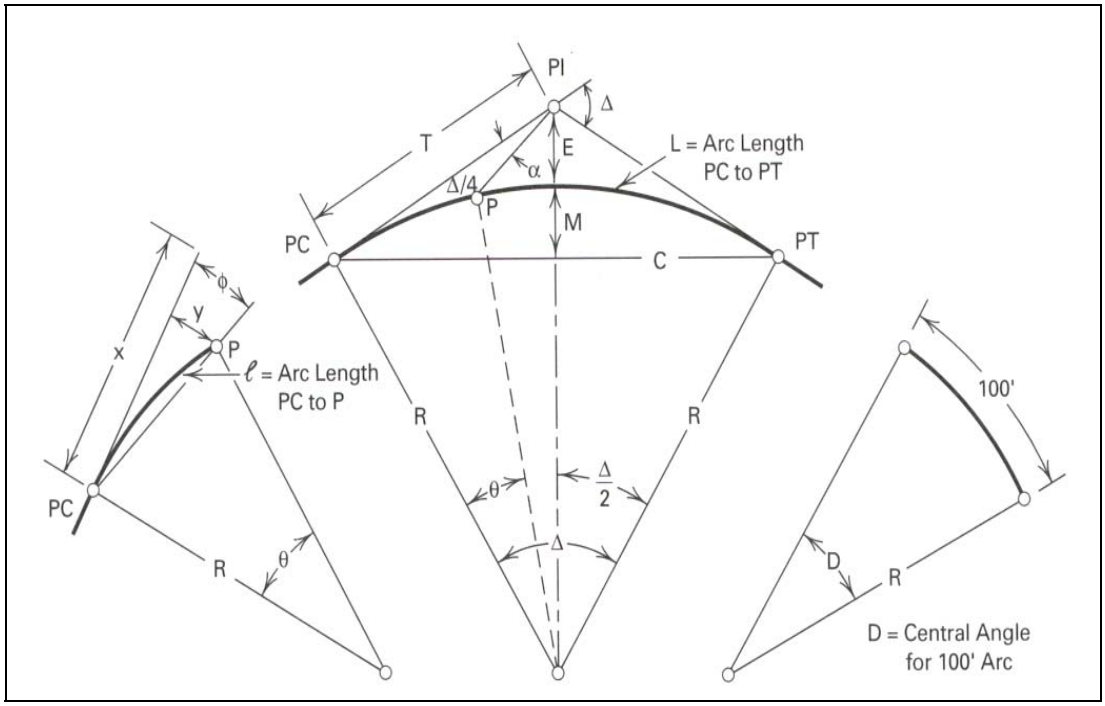
- طبوغرافية المنطقة.
- النقاط الحاكمة.

- وجود عوائق على المسار.
- وكذلك العوامل الاقتصادية.

وعند التصميم يجب الأخذ في الاعتبار العلاقة بين السرعة التصميمية، نصف قطر المنحنى وقوة الطرد المركزية. وفي حالة التصميم للسرعات العالية يفضل أن تكون المنحنيات طويلة ومنبسطة ذات أنصاف أقطار كبيرة لتفادي قوى الطرد المركزية العالية. كما يفضل استخدام منحنيات انتقالية لربط الأجزاء المستقيمة من الطريق بالأجزاء الدائرية لضمان الانتقال التدريجي بينها.

٢- ٣- ٢ عناصر المنحنيات الدائرية

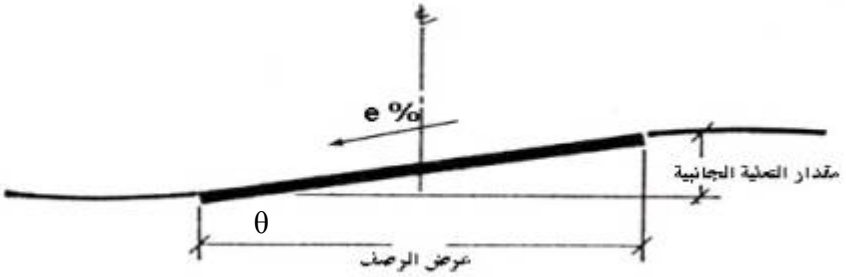
يوضح الشكل (٢- ٤) العناصر اللازمة حسابها لتوقيع المنحنيات الدائرية:



شكل (٢- ٤): عناصر المنحنى الدائري.

٢- ٣- ٣ رفع الظهر عن البطن

تتعرض المركبة عند مرورها على المنحنيات الأفقية إلى قوى طرد مركزية تؤثر عند مركز ثقلها وتولد عزم انقلاب يحاول دفعها إلى خارج الطريق. وقد يؤدي هذا العزم إلى قلب المركبة إذا تعدى عزم الثبات الناتج من وزن المركبة. ولمقاومة عزم الانقلاب يتم رفع الحافة الخارجية للطريق عن الحافة الداخلية بمعدل يسمح باستقرار المركبات وهو ما يعرف بارتفاع ظهر المنحنى كما هو مبين في الشكل (٢- ٥). وفي حالة المنحنيات ذات أنصاف الأقطار الكبيرة جداً يمكن إهمال رفع الظهر.



شكل (٢- ٥): ارتفاع ظهر المنحنى.

ويتم حساب معدل ارتفاع ظهر المنحنى من خلال العلاقة التالية:

$$e + f = \frac{V^2}{127 R}$$

حيث:

e: معدل ارتفاع ظهر المنحنى.

V: السرعة التصميمية (كم / الساعة).

R: نصف قطر المنحنى (متر).

f: معامل الاحتكاك الجانبي للطريق.

وتؤخذ قيم f من الجدول (٢- ٣) بناء على مواصفات هيئة آشتو (AASHTO).

جدول (٢- ٣): قيم f التصميمية حسب مواصفات آشتو.

السرعة التصميمية (كم / ساعة)	f
٣٠	٠,١٧
٤٠	٠,١٧
٥٠	٠,١٦
٦٠	٠,١٥
٧٠	٠,١٤
٨٠	٠,١٤
٩٠	٠,١٣
١٠٠	٠,١٢
١١٠	٠,١١
١٢٠	٠,٠٩

مثال:

إذا كان نصف قطر منحنى دائري ١٠٠ متر والسرعة التصميمية للطريق ٨٠ كم / الساعة، أوجد معدل ارتفاع ظهر المنحنى.

الحل:

V = 80 كم / الساعة R = ١٠٠ متر f = 0.14

معدل ارتفاع ظهر المنحنى:

$$e = \frac{V^2}{127\ R} - f = \frac{80^2}{127 \times 100} - 0.14 = 0.364$$

٢- ٣- ٤ طرق التوصل إلى ارتفاع الظهر عن البطن

يحسب معدل ارتفاع ظهر المنحنى من الناحية العملية على أساس ٧٥ ٪ من السرعة التصميمية بحيث لا يتعدى (1/15) مع إهمال الاحتكاك الجانبي. ويتم ذالك باتباع الخطوات التالية:

١. يتم حساب معدل ارتفاع الظهر عند ٧٥ ٪ من السرعة التصميمية مع إهمال الاحتكاك الجانبي:

$$e = \frac{(0.75\ V)^2}{127\ R}$$

٢. إذا كانت قيمة e أقل من (1/15) فتؤخذ القيمة المتحصل عليها في الخطوة الأولى.

٣. إذا كانت قيمة e أكبر من (1/15) فيفترض أنها تساوي (1/15) وتراجع قيمة معامل الاحتكاك الجانبي f حسب السرعة التصميمية أي:

$$f = \frac{V^2}{127\ R} - e$$

٤. إذا كانت قيمة f أقل من (0.15) فإن معدل ارتفاع ظهر المنحنى مناسب.

٥. إذا كانت قيمة f أكبر من (٠,١٥) فتجب مراجعة السرعة المسموح بها (V_a) بتطبيق المعادلة:

$$e + f = \frac{1}{15} + 0.15 = \frac{V_a^2}{127\ R}$$

٦. إذا كانت السرعة المسموح بها أكبر من السرعة التصميمية تؤخذ قيمة e تساوي (1/15).

٧. إذا كانت السرعة المسموح بها أقل من السرعة التصميمية فتجب مراجعة تخطيط المنحنى باختيار نصف قطر أكبر.

مثال:

إذا كان نصف قطر منحنى يساوي ٥٠٠ متر والسرعة التصميمية تساوي ١٠٠ كم/الساعة، احسب معدل ارتفاع ظهر هذا المنحنى.

الحل:

$$e = \frac{(0.75V)^2}{127\ R} = \frac{(0.75 \times 100)^2}{127 \times 500} = 0.088$$

وبما أن هذه القيمة أكبر من (1/15) فنفترض e تساوي (1/15) ويجب التحقق من قيمة معامل الاحتكاك الجانبي f:

$$f = \frac{V^2}{127\,R} - \frac{1}{15} = \frac{100^2}{127.500} - 0.067 = 0.09$$

وبما أن قيمة f أقل من ٠,١٥ فإن التصميم ملائم بمعدل رفع ظهر المنحنى = (1/15).

مثال:

احسب أقصى سرعة يسمح بها للسير على منحنى في حالة التقييد بالمعدل الأقصى لارتفاع الظهر علما أن نصف قطر المنحنى يساوي ٢٠٠ متر والسرعة التصميمية تساوي ١٠٠ كم / الساعة.

الحل:

$$e + f = \frac{1}{15} + 0.15 = \frac{V_a^{\ 2}}{127\,R}$$

$$\frac{V_a^{\ 2}}{127\ R} = 0.217$$

$$V_a^{\ 2} = 0.217 \times 127 \times R$$

$$V_a^{\ 2} = (0.217) \times (127) \times (200) = 2755.9$$

$$V_a = 52.5 km / h$$

٢- ٣- ٥ حساب نصف قطر المنحنى الدائري

عادة ما تعرف درجة حدة المنحنى الدائري بنصف قطره. ويحسب الحد الأدنى المطلق لنصف القطر المسموح به على أساس السرعة التصميمية باستخدام العلاقة التالية:

$$e + f = \frac{1}{15} + 0.15 = \frac{V^2}{127 R}$$

$$R = \frac{V^2}{27.5}$$

ويحسب نصف القطر الحاكم الذي يفضل أن يكون أكبر من الحد الأدنى المطلق باستخدام العلاقات التالية:

- في حالة طرق بالمناطق المسطحة:

$$R_{rolling} = \frac{(V+16)^2}{27.5}$$

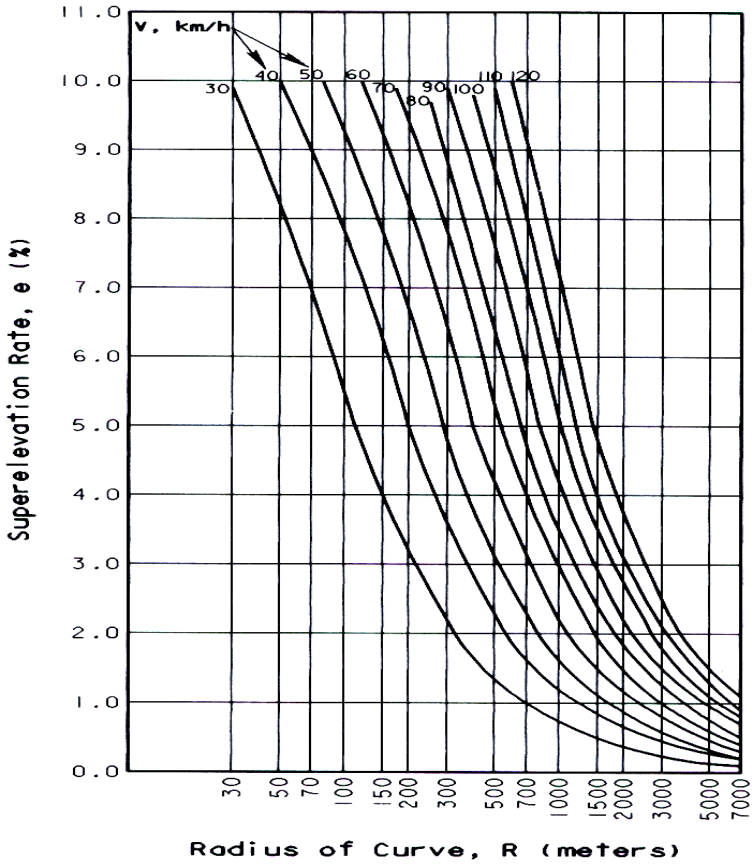
- في حالة طرق بالمناطق الجبلية:

$$R_{rolling} = \frac{(V+8)^2}{27.5}$$

وقد أعطت جمعية آشتو الأمريكية جداول ومنحنيات تصميمية تستخدم لحساب أنصاف أقطار المنحنيات الأفقية الدائرية حسب السرعات التصميمية ومعدلات ارتفاع ظهر المنحنى، كما هو مبين في الجدول (٢- ٤) وفي الشكل (٢- ٦).

جدول (٢- ٤): الحد الأدنى المطلق لنصف القطر حسب مواصفات آشتو الأمريكية.

R (m)				f	V (km/h)
e = 0.10	e = 0.08	e = 0.06	e = 0.04		
25	30	30	35	0.17	30
45	50	50	60	0.17	40
75	80	90	100	0.16	50
115	125	135	150	0.15	60
160	175	195	215	0.14	70
210	230	250	280	0.14	80
275	305	335	375	0.13	90
360	395	435	490	0.12	100
455	500	560	635	0.11	110
595	665	755	870	0.09	120



شكل (٢- ٦): تصميم نصف قطر المنحنى ومعدل ارتفاع ظهر المنحنى كما توصي به هيئة آشتو.

مثال:

احسب نصف قطر منحنى على طريق بمنطقة مسطحة علماً أن السرعة التصميمية للطريق تساوي ١١٠ كم / الساعة.

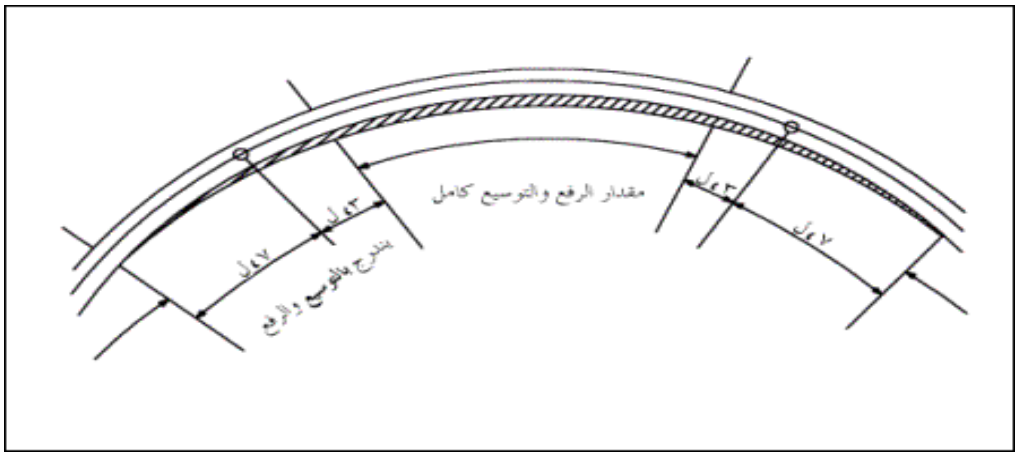
الحل:

- الحد الأدنى المطلق لنصف القطر المسموح به: $R = \frac{V^2}{27.5} = \frac{110^2}{27.5} = 440\ m$

- نصف القطر الحاكم: $R_{rolling} = \frac{(V+16)^2}{27.5} = \frac{(110+16)^2}{27.5} = 577 m$

٢- ٣- ٦ توسيع المنحنيات

من المناسب توفير زيادة الرصف عند المنحنيات كما هو مبين في الشكل (٢- ٧) حتى يهيئ ظروف قيادة مشابهة للطريق المستقيم ويضمن ثبات واستقرار المركبات على المنحنى ويسهل إمكانية التجاوز بأمان. والجدول (٢- ٥) يعطي بعض القيم الإرشادية للزيادة في توسيع المنحنيات، وكما هو مبين فكلما كان المنحنى حادا كلما كانت الزيادة معتبرة.



شكل (٢- ٧): زيادة الرصف على المنحنيات.

جدول (٢- ٥): بعض القيم الإرشادية للزيادة في توسيع المنحنيات.

نصف قطر المنحنى (متر)	إلى ٦٠	٦٠ - ١٥٠	١٥١ - ٣٠٠	٣٠١ - ٩٠٠	أكبر من ٩٠٠
الزيادة (متر)	١,٢	٠,٩	٠,٦	٠,٣	-

٢- ٤ معايير عامة على التخطيط الأفقي للطريق

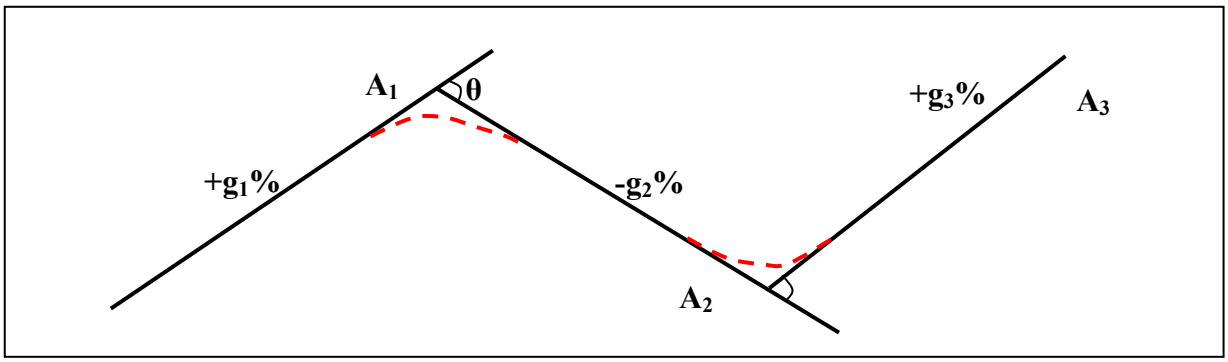
- يجب أن يكون التخطيط متماشياً مع طبوغرافية المنطقة وموجهاً للسير في نفس الاتجاه قدر الإمكان، لأن مثل هذا التصميم مرغوب من الوجهة الإنشائية و الصيانة.
- يجب أن يكون التخطيط متناسقاً قدر الإمكان، فلا يتم عمل منحنيات شديدة في نهاية أطوال كبيرة مستقيمة، كما لا يعمل تغيير مفاجئ من منحنيات منبسطة إلى منحنيات حادة، وعندما يستلزم الأمر إدخال منحنى حاد فيكون الدخول عليه إذا أمكن ذلك بواسطة منحنيات انتقالية متتالية تبدأ من الانحناء السهل العام ثم تزداد شدة المنحنى بالتدرج لضمان الانتقال التدريجي.
- يجب على المصمم محاولة استخدام المنحنيات المنبسطة بوجه عام وأن يتجنب المنحنيات الحادة، وفي حالة التصميم للسرعات العالية فلا بد من استخدام المنحنيات الطويلة والمنبسطة ذات أنصاف أقطار كبيرة لتفادي قوى الطرد المركزية العالية.
- في الأماكن المستوية من المملكة يجب ألا يقل نصف قطر المنحنى الأفقي في الطرق السريعة عن ٥٠٠ متر ويفضل أن يكون في حدود ١٠٠٠ متر.
- في حالة الجسور العالية الطويلة يجب استخدام المنحنيات المنبسطة فقط.
- تجب مراعاة الحذر عند استخدام المنحنيات الدائرية المركبة، والأفضل تجنب استخدامها.
- يجب اجتناب أي تغيير عكسي مفاجئ في التخطيط، لأن مثل هذا التغيير يجعل من الصعب على السائق أن يلزم حارة المرور الخاصة به، كما أنه من الصعب عمل رفع جانبي كافٍ للطريق في كلا الانحناءين وقد ينتج عن ذلك حركات خاطئة وخطيرة، ويمكن تصميم انحناء عكسي مناسب في التخطيط بعمل مماس ذي طول كاف بين الانحناءين للانتقال التدريجي في الرفع الجانبي، ولا يقل طوله عن ٤٠ متر.
- يجب اجتناب عمل منحنيات ذات شكل منكسر أي انحنائين متتالين في نفس الاتجاه بينهما مماس قصير، لأن مثل هذا التخطيط فيه خطورة، وتنتج هذه الخطورة من أن معظم السائقين لا يتوقعون أن تكون المنحنيات المتتالية لها نفس الاتجاه، أما الحالة السائدة وهي انعكاس الاتجاه في منحنيين متتالين فهي تولد في السائقين العادة على اتباعها بطريقة تكاد تكون لا شعورية.
- تجب مراعاة الترابط بين التخطيط الأفقي والقطاع الطولي اجتناباً لظهور أي اعوجاج مخل بالتناسق، وهذا الترابط بين التخطيطين الأفقي والرأسي ضرورة حتمية كي نحصل في النهاية على تصميم جيد التوازن.

التصميم الرأسي للطرق

٣- ١ التخطيط الرأسي

يتكون القطاع الطولي للطريق من سلسلة من المماسات أو الخطوط المستقيمة المتتالية والمتصلة بمنحنيات رأسية على شكل القطاع المكافئ كما هو مبين في الشكل (٣- ١). ويشمل التخطيط الرأسي تحديد انحدار الخطوط المستقيمة وتصميم منحنيات رأسية بينها وتحديد أطوال هذه المنحنيات وعناصرها. وبتحديد المحور الرأسي للطريق تتحدد مناسيب الرصف والمسائل التي تتعلق بالتنفيذ كالحفر والردم والصرف.

وعند تصميم خط منسوب الطريق يجب الأخذ في الاعتبار الجانب الاقتصادي بجعل عمليات الحفر والردم في حدها الأدنى، وتحقيق متطلبات مسافة الرؤية وغيرها من متطلبات التصميم. وفي المناطق الجبلية يجب وضع خط المنسوب بحيث يحقق التوازن بين أعمال الحفر والردم لتقليل تكلفة الإنشاء. وفي المناطق المسطحة يجب أن يرتفع خط الطريق عن سطح الأرض الطبيعية بالمقدار الذي يسمح بتصريف المياه السطحية بسهولة.



شكل (٣- ١): نموذج من منحنيات رأسية.

ومن الشكل الموضح أعلاه نستنتج:

$$A_1 = \left(\frac{+g_1}{100}\right) - \left(\frac{-g_2}{100}\right)_1 = \frac{(g_1 + g_2)}{100}$$

$$A_2 = \left(\frac{-g_2}{100}\right) - \left(\frac{+g_3}{100}\right)_2 = -\frac{(g_2 + g_3)}{100}$$

حيث: A الفرق الجبري بين انحداري المماسين المحيطين بالمنحنى.

٣- ٢ الحد الأقصى والأدنى للميل الطولي للطريق

لقد بينت الدراسات أن جميع العربات الخاصة تستطيع صعود الانحدارات التي تصل إلى ٨ ٪ بسهولة ولا تتأثر سرعتها كثيرا على عكس مركبات النقل التي تتأثر سرعتها بشدة بالميول. والجدول (٣- ١) يعطي بعض القيم الخاصة بالانحدارات القصوى المقبولة التي حددتها هيئة أشو على أساس السرعة التصميمية لبعض أنظمة الطرق. وتتوقف السرعة القصوى للمركبات التجارية عند صعودها الانحدارات على طول ونسبة الانحدار وعلى النسبة بين الوزن والقدرة للمركبة.

جدول (٣- ١) الانحدارات القصوى المقبولة حسب مواصفات هيئة آشتو (AASHTO).

السرعة التصميمية (كم / الساعة)	الانحدار الأقصى (٪)	
	مناطق منبسطة	مناطق جبلية
٤٨	٦	٩
٦٤	٥	٨
٨٠	٤	٧
٩٦	٣	٦
١١٢	٣	٥
١١٨	٣	٤

٣- ٣ الطول الحرج لميل الطريق

بالإضافة إلى الحد الأقصى المسموح به للانحدار فإن هناك طولاً حرجاً للانحدار يجب أن يؤخذ في الاعتبار عند التصميم، وهو أقصى طول على انحدار تستطيع عربات النقل صعوده والبقاء عليه دون أن يؤثر ذلك تأثيرا كبيرا على سرعتها ويكون التخفيض في السرعة في حدود ٢٥ كم/الساعة فقط من السرعة المتوسطة. ويعطي الجدول (٣- ٢) الأطوال الحرجة للمنحدرات التي تتناسب مع مقدار الانحدار حسب مواصفات هيئة آشتو (AASHTO).

جدول (٣- ٢) قيم الأطوال الحرجة للمنحدرات حسب مواصفات هيئة آشتو (AASHTO).

الانحدار (٪)	٢,٥	٣	٤	٥	٦	٧	٨
الطول (م)	٧٠٠	٤٧٥	٣٢٥	٢٥٠	٢٠٠	١٧٥	١٦٠

مثال:

احسب الطول الحرج لمنحدر مقداره ٥ ٪.

الحل:

الطول الحرج يساوي ٢٥٠ م، هذا يعني أن عربة النقل المحملة التي تصعد على انحدار بنسبة ٥٪ تستطيع البقاء على هذا الطريق لمسافة تصل إلى ٢٥٠ م دون أن تنخفض سرعتها أكثر من ٢٥ كم / الساعة.

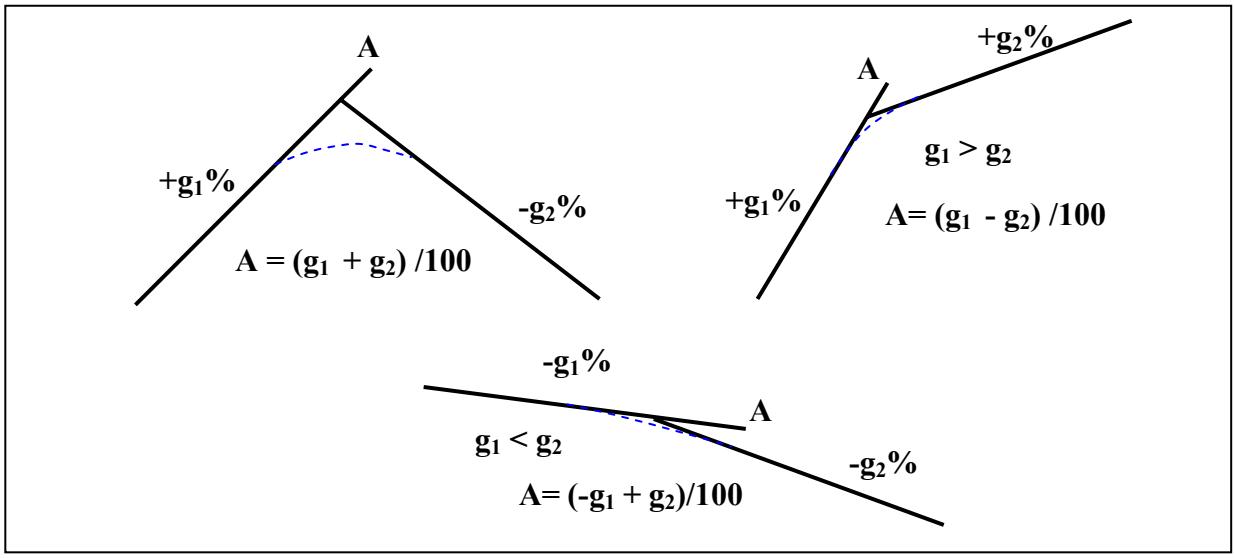
٣- ٤ المنحنيات الرأسية

يحتوي خط منسوب الطريق على مجموعة خطوط مستقيمة ومتقاطعة (في المستوى الرأسي) يتم ربط كل خطين متقاطعين بمنحنى رأسي مناسب. وتكون هذه المنحنيات على شكل منحنيات استدارة علوية (أي منحنيات رأسية محدبة) كما هو موضح في الشكل (٣- ٢)، أو منحنيات استدارة سفلية (أي منحنيات رأسية مقعرة) كما في الشكل (٣- ٣).

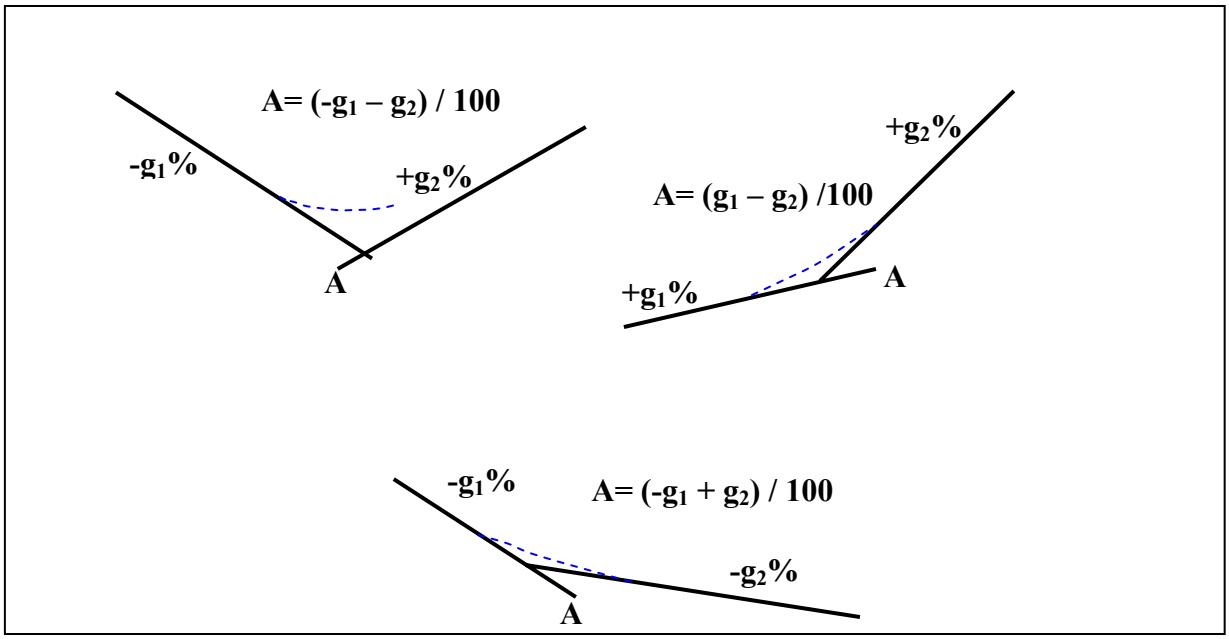
يجب أن تكون المنحنيات الرأسية سهلة الاستخدام وتهيئ تصميماً آمنًا ومريحاً في التشغيل، ومقبولاً في الشكل، وكافياً لتصريف المياه مع مراعاة النواحي الاقتصادية. وأهم مطلب في المنحنيات الرأسية هو أن تعطينا مسافات رؤية كافية للسرعة التصميمية. ويستخدم القطع المكافئ في المنحنيات الرأسية لسهولة حساباته وبساطة توقيعه في الطبيعة واستيفائه للمطالب السالفة.

ولتعيين العناصر اللازمة لتصميم المنحنيات الرأسية، كما هو موضح في الشكل (٣- ٤)، يجب توفير المعلومات التالية:

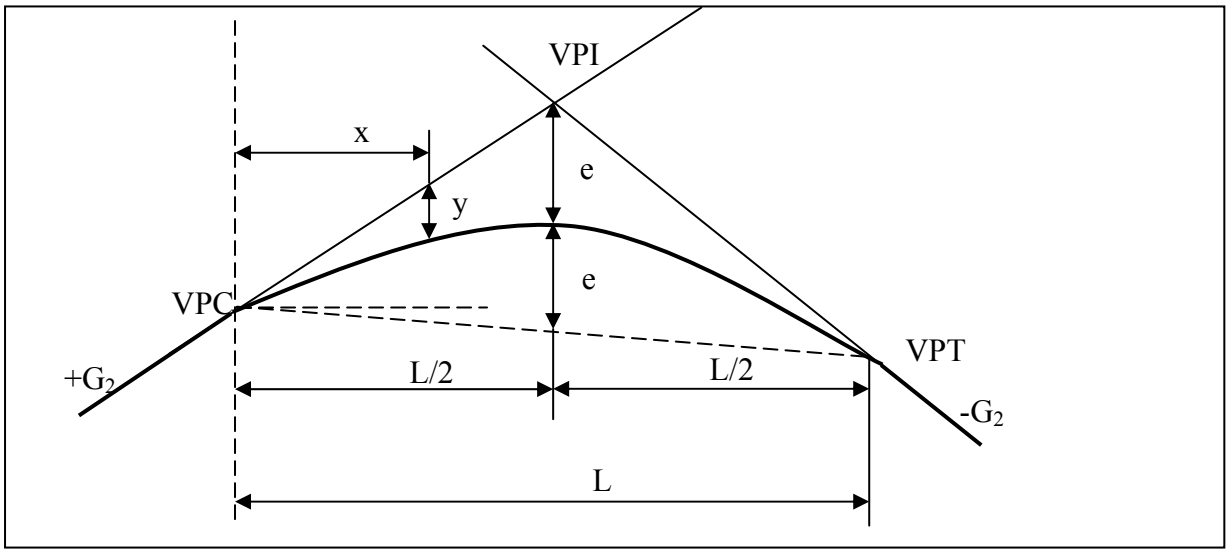
- ميول خطوط المناسيب الرأسية المتتالية.
- نقطة التقاطع لكل خطين متتاليين.
- طول المنحنى الرأسي وهو عبارة عن المسافة الأفقية بين نقطتي البداية والنهاية للمنحنى.



شكل (٣- ٢): منحنيات استدارة علوية.



شكل (٣- ٣): منحنيات استدارة سفلية.



شكل (٣-٤): العناصر التصميمية للمنحنيات الرأسية.

٣- ٥ مسافة الرؤية عند المنحنيات الرأسية

تكون المنحنيات الرأسية على نوعين إما منحنيات استدارة علوية (منحنيات قمة) أو منحنيات استدارة سفلية (منحنيات قعر) كما هو مبين في الشكل (٣- ٢) والشكل (٣- ٣). ويجب أن تصمم هذه المنحنيات بمسافة رؤية كافية تمكن السائق من الوقوف أو التجاوز براحة وأمان.

٣- ٥- ١ حساب طول منحنى الاستدارة العلوي لمسافة الرؤية للتوقف (SSD)

لإيجاد طول المنحنى الرأسي اللازم لتأمين مسافة رؤية كافية للتوقف نأخذ الحالات التالية:

١. الحالة الأولى: طول المنحنى أكبر من مسافة الرؤية $(SSD < L)$:

$$L = \frac{AS^2}{\left(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2}\right)^2}$$

٢. الحالة الثانية: طول المنحنى أقل من مسافة الرؤية $(SSD > L)$:

$$L = 2S - \frac{\left(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2}\right)^2}{A}$$

حيث:

L: طول منحنى الاستدارة للتوقف (متر).

S: مسافة الرؤية للتوقف على منحنى الاستدارة العلوي (متر).

A: الفرق الجبري بين انحداري المماسين المحيطين بالمنحنى (بدون نسبة مئوية).

h_1: ارتفاع عين السائق عن سطح الأرض وتؤخذ 1.22 متر.

h_2: ارتفاع عائق عن سطح الأرض وتؤخذ 0.1 متر.

٣- ٥- ٢ حساب طول منحنى الاستدارة العلوي لمسافة التجاوز

لحساب طول منحنى الاستدارة العلوي لمسافة التجاوز نستخدم نفس العلاقات السابقة الخاصة بمسافة الرؤية للتوقف مع أخذ ارتفاع عين السائق عن سطح الأرض h_1 متساوية مع ارتفاع العائق عن سطح الأرض h_2 (أي $h_2 = h_1$ = ١,٢٢ م).

وعليه يكون طول المنحنى:

١. في حالة طول المنحنى أكبر من مسافة الرؤية للتجاوز $(PSD < L)$:

$$L = \frac{AS^2}{9.76}$$

٢. في حالة مسافة الرؤية للتجاوز أطول من طول المنحنى $(PSD > L)$:

$$L = 2S - \frac{9.76}{A}$$

حيث:

L: طول منحنى الاستدارة للتوقف (متر).

S: مسافة الرؤية للتوقف على منحنى الاستدارة العلوي (متر).

A: الفرق الجبري بين انحداري المماسين المحيطين بالمنحنى (بدون نسبة مئوية).

٣- ٥- ٣ حساب طول منحنى الاستدارة السفلي

تحدد مسافة الرؤية ليلا حسب مسافة الأضواء الأمامية للمركبة، بحيث تكون هذه الأخيرة كافية لتحقيق مسافة إيقاف فقط حيث لا يسمح بالتجاوز إطلاقا على هذا النوع من المنحنيات. ويمكن حساب طول منحنى الاستدارة السفلي باستخدام المعادلة التالية:

$$L = 0.378 \left(AV^3\right)^{\frac{1}{2}}$$

حيث:

L: طول منحنى الاستدارة السفلي (متر).

A: الفرق الجبري بين انحداري المماسين المحيطين بالمنحنى.

V: السرعة التصميمية (كم / ساعة).

مثال:

إذا كان منحنى استدارة علوي انحرافه يساوي 0.09. أوجد طول المنحنى للتوقف في الحالات التالية:

١. مسافة الرؤية = ١٠٠ متر أقل من طول المنحنى.

٢. مسافة الرؤية = ٥٠ متر أكبر من طول المنحنى.

الحل:

- الحالة الأولى: طول المنحنى أطول من مسافة الرؤية $(SSD < L)$:

$$A = 0.09 \quad S = 100\ \text{m} \quad h_1 = 1.22\ \text{m} \quad h_2 = 0.1\ \text{m}$$

$$L = \frac{AS^2}{\left(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2}\right)^2} = \frac{0.09 \times 100^2}{\left(\sqrt{2 \times 1.22} + \sqrt{2 \times 0.1}\right)^2} = 222.93\,m$$

- الحالة الثانية طول المنحنى أقل من مسافة الرؤية $(SSD > L)$:

$$A = 0.09 \quad S = 50\ \text{m} \quad h_1 = 1.22\ \text{m} \quad h_2 = 0.1\ \text{m}$$

$$L = 2S - \frac{\left(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2}\right)^2}{A} = 2 \times 50 - \frac{\left(\sqrt{2 \times 1.22} + \sqrt{2 \times 0.1}\right)^2}{0.09} = 55.14\,m$$

مثال:

منحنى استدارة علوي يربط انحدار صاعد بميل (1/30) مع انحدار هابط بميل (1/40). احسب طول المنحنى الذي يسمح بمسافة تجاوز مقدارها ٤٤٠ متر في حالة طول المنحنى أكبر من مسافة التجاوز وفي حالة طول المنحنى أقل من مسافة التجاوز.

الحل:

- الحالة الأولى: $PSD < L$

$$A = g_1 - g_2 = (+1/30) - (-1/40) = 0.058$$
$$L = \frac{AS^2}{9.76} = \frac{0.058 \times 440^2}{9.76} = 1150.49\,m$$

- الحالة الثانية: $PSD > L$

$$L = 2S - \frac{9.76}{A} = 2 \times 440 - \frac{9.76}{0.058} = 711.72\,m$$

مثال:

منحنى استدارة سفلي تكون نتيجة لانحدار هابط بميل (1/20) ولآخر صاعد بميل (1/25). أوجد طول المنحنى إذا كانت السرعة التصميمية ٩٠ كم / ساعة.

الحل:

$$A = g_1 - g_2 = (-1/20) - (+1/25) = 0.09$$
$$L = 0.378\left(AV^3\right)^{\frac{1}{2}} = 0.378\left(0.09 \times 90^3\right)^{\frac{1}{2}} = 96.82\,m$$

٣- ٦ معايير عامة على التخطيط الرأسي للطريق

هناك عدة معايير عامة تجب مراعاتها أثناء التخطيط الرأسي وهي:

١. يجب أن يكون الهدف هو الحصول على منسوب تصميمي طولي سهل ذي تغييرات تدريجية تتمشى مع نوع الطريق و درجته وكذا طبيعة الأرض.

٢. يجب اجتناب التخطيط الرأسي المتموج أو ذي الانخفاضات المحجوبة

٣. يجب تجنب الانحدارات الشديدة في جميع الحالات.

٤. ألا يتجاوز انحدار الخطوط الحد الأقصى المسموح به.

٥. يجب مراعاة الطول الحرج للانحدارات.

٦. يجب مراعاة مسافات الرؤية اللازمة.

٧. يجب مراعاة التوازن بين حجم الحفر وحجم الردم للتربة.

٨. لا يقل انحدار الخطوط عن ٠,٥ ٪ لتصريف المياه.

٩. عند وجود تقاطعات مستوية في أجزاء من الطرق ذات انحدارين متوسط وشديد فيحسن تخفيض الانحدار خلال التقاطع.

٣- ٧ التنسيق بين التخطيط الأفقي والتخطيط الرأسي

يجب أن يقوم المصمم بالتوفيق بين التصميم الأفقي والتصميم الرأسي ويسعى إلى إحداث تجانس بينها كي يتحصل على طريق آمن وغير مشوه. ولتحقيق ذلك لا بد من اتباع الأسس التالية:

١. يفضل أن يكون طول المنحنى الأفقي أكبر من طول المنحنى الرأسي في نفس المنطقة.

٢. يجب أن تكون المنحنيات الأفقية متوازنة مع الانحدارات الطولية، حيث إن التخطيط الأفقي المستقيم أو المنحنيات الأفقية المنبسطة مجتمعة مع انحدارات طولية حادة أو طويلة، وكذا عمل انحناء حاد للاحتفاظ بانحدار منبسط، كلاهما تصميم رديء.

٣. تجنب التداخل بين المنحنى الأفقي والمنحنى الرأسي.

٤. تجنب إدخال منحنى أفقي حاد قرب منتصف منحنى رأسي سفلي.

٥. تجنب إدخال منحنى أفقي حاد قرب قمة منحنى رأسي علوي.

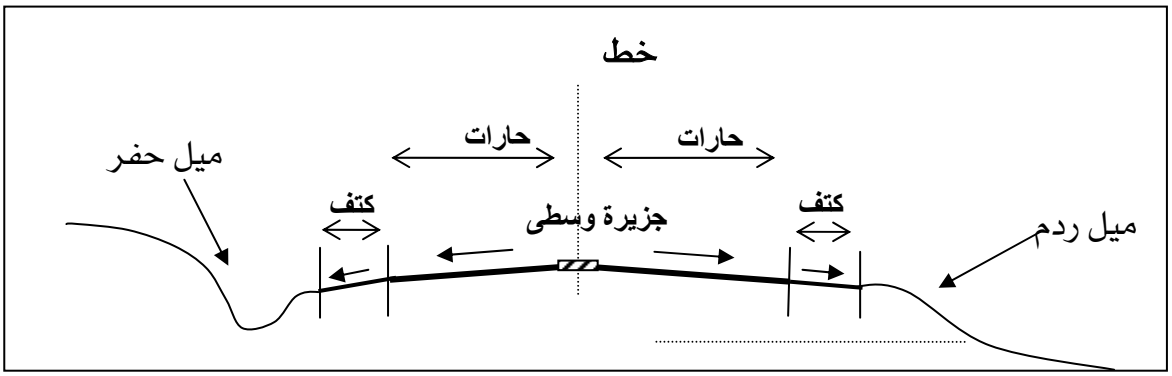
٦. تخفيض الانحدار عند التقاطعات.

٧. في حالة وجود منحنيات أفقية أو رأسية عند تقاطع يجب التقليل من حدة هذه المنحنيات.

عناصر القطاع العرضي للطريق

٤- ١ مقدمة

يتوقف التصميم الهندسي للعناصر المختلفة لقطاع الطريق على أهمية الطريق ومدى الاستفادة من هذا الطريق. فالطرق التي يمر عليها عدد كبير من العربات وبسرعات عالية تتطلب مواصفات تختلف عن تلك التي تتطلبها الطرق التي يمر عليها عدد قليل من المركبات وبسرعات منخفضة. وتشمل هذه المواصفات على عدد وعرض الحارات، وحدة الانحدارات الطولية، ودرجة المنحنيات الأفقية، وعرض الأكتاف وغيرها. فالطرق الرئيسة مثلاً تصمم لاستقطاب أحجام عالية من المرور بسرعات عالية فتتطلب عدداً كبيراً من الحارات العريضة وانحدارات طولية صغيرة ومنحنيات منبسطة ذات أنصاف أقطار كبيرة نسبيا. يوضح الشكل (٤- ١) عناصر القطاع العرضي لطريق.



شكل (٤- ١): عناصر القطاع العرضي لطريق باتجاهين.

٤- ٢ عرض الرصف أو حارة المرور

الحارة هي الجزء المرصوف من الطريق والمخصص لسير صف واحد من العربات. ولها دوراً أساسياً في تسهيل القيادة وجعلها آمنة حيث يعتمد الموقف الذي يختاره السائق عند اجتيازه العربات أو عند مقابلته للعربات القادمة على العرض المخصص للحارة التي يسير عليها. ويتوقف تصميم عرض الحارة على أهمية الطريق وعلى السرعة التصميمية وحتى تكون القيادة سهلة وآمنة فإن المواصفات القياسية توصي على ألاّ يقل العرض التصميمي للحارة عن ٣ أمتار في الطرق المحلية ولا يقل عرض الحارة عن ٣,٧٥ مترا في الطرق

الرئيسة. والحارة الواحدة تستوعب عدداً محدداً من المركبات وكلما زاد هذا العدد (خاصة مركبات النقل) كلما قل انسياب المرور وعليه يتوجب زيادة عدد الحارات لتسريع حركة المرور.

وتنقسم الطرق من حيث عدد الحارات إلى عدة أقسام، فهناك طرق بحارة واحدة كالطرق القروية التي تستوعب عددا محددا من المركبات فلا تحتاج لأكثر من حارة واحدة. وهناك طرق بحارتين واحدة للذهاب والأخرى للإياب وهي تشكل أغلب أنواع الطرق وتتطلب مسافة رؤية واضحة تمكن السائق من التجاوز بأمان. وهناك طرق بأكثر من حارتين (ثلاث أو أربع حارات) تستخدم في حالة السير المكثف والسرعات العالية للعربات. وهناك طرق مقسومة بجزيرة حيث يتألف الاتجاه الواحد فيها من حارتين أو ثلاث أو أربع كما في الشكل (٤- ٢).

شكل (٤- ٢): طريق بأربع حارات لكل اتجاه.

وبالإضافة إلى الحارات الأساسية في الطريق فهناك أنواع أخرى من الحارات منها:

- حارة الصعود: وهي حارة إضافية مخصصة لمركبات النقل التي تسير ببطء أثناء الصعود حتى يسمح للمركبات الصغيرة بتجاوزها كما في الشكل (٤- ٣).
- حارة التباطؤ: وهي حارة جانبية تسلكها المركبات أثناء مغادرتها الطريق الرئيس لتتمكن فيها من تخفيض سرعتها بدون أن تعرقل حركة المرور كما هو مبين في الشكل (٤- ٤).
- حارة التسارع: وهي حارة جانبية مخصصة لدخول المركبات إلى الطريق الرئيس.

شكل (٤- ٣): حارة صعود.

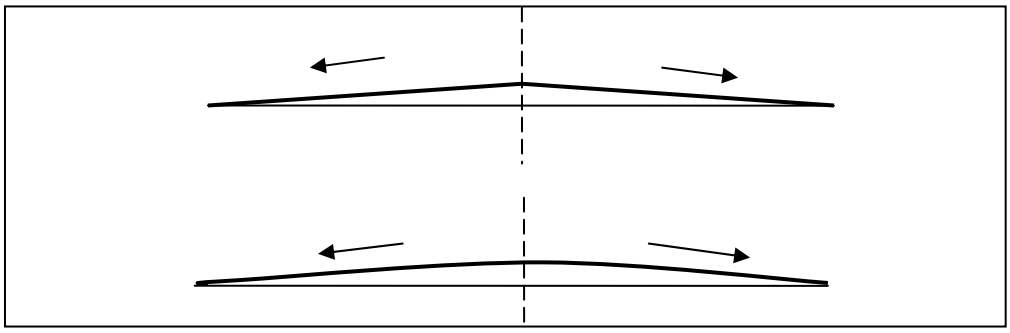
شكل (٤- ٤): حارة تباطؤ.

٤- ٣ سطح الطريق

تتوقف طبيعة السطح المرصوف على نوع وأهمية الطريق وتركيبة المرور ونوعية مواد الرصف المستعملة وخبرة شركات الرصف وتكلفة الإنشاء وصيانة الطريق. وتؤثر حالة السطح على سلامة المرور من حيث انزلاق العربات ورؤية السائقين كما تؤثر على راحة المسافرين من حيث الصوت الذي تحدثه العربات عند السير عليها. فالطرق المصممة لأحجام كبيرة من المرور السريع تتطلب سطوحاً ناعمة مع خاصية منع الانزلاق، إلا أن السطوح الناعمة جداً قد تتسبب في انزلاق السيارات ووقوع حوادث خاصة عندما تكون هذه السطوح مبتلة. وأما السطوح الخشنة فهي غالباً ما تخصص للمرور الأقل حجماً والبطيء نسبيا وتولد أصوات قد تكون مزعجة في بعض الأحيان. ويفضل أن تكون الميول العرضية للقطاع عند حدها الأدنى في حالة السطوح الناعمة، أما في حالة السطوح الخشنة فيجب أن تكون هذه الميول عند حدها الأقصى لضمان صرف مياه الأمطار.

٤- ٤ الميول العرضية للرصف

يتم عمل ميول عرضية لسطح الطريق من الجهتين لخط محور الطريق وذلك لتصريف مياه الأمطار. وتتوقف قيم الميول العرضية على نوع الرصف، فيستعمل الميل البالغ ٢ ٪ للطرق المعبدة والميل البالغ ٣ ٪ للطرق غير المعبدة مع الملاحظة أن الأكتاف تميل بنسبة أكبر من الحارات. ويأخذ سطح الطريق عدة أشكال وعدة حالات من الميول، فهناك الميول المنتظمة وهناك الميول المنحنية على شكل مكافئ كما هو موضح في الشكل (٤- ٥).



شكل (٤- ٥): أشكال الميول العرضية.

٤- ٥ الأكتاف وملحقاتها

وهي الأجزاء الجانبية من الطريق الواقعة بين الحافة الخارجية لحارة السير والحافة الداخلية لقناة صرف المياه كما هو مبين في الشكل (٤- ٦). ويختلف عرض الكتف بحسب نوع وأهمية الطريق، فكلما كان مستوى الطريق عاليا كلما زاد عرض الكتف. وفي حالة الطرق السريعة يوصى بعمل أكتاف تتراوح عروضها بين ١,٢٥ متر كحد أدنى و٣,٦٠ متر كحد أقصى. ويجب أن تزود هذه الأكتاف بميول عرضية كافية لصرف المياه وتكون أكثر حدة من ميول حارات المرور وتتراوح مابين ٢ ٪ و ٥ ٪.

شكل (٤- ٦): نماذج من أكتاف.

وغالبا ما يتم إنشاء الأكتاف من مواد إسفلتية أقل جودة من تلك التي تستعمل في رصف حارات المرور. وتزود الطرق بهذه الأكتاف لإيواء العربات التي تتوقف بسبب العطل أو في حالات الطوارئ. ومن أهم منافع الأكتاف هي:

١. تهيئ مكاناً لوقوف السيارات المعطلة للحالات الطارئة، وذلك لأن وقوف السيارات على الجزء المرصوف من الطريق يكون سبباً قوياً لوقوع الحوادث.

٢. تمكن السائق من الوقوف لفحص خريطته على الطريق.

٣. تمكن السائق من تفادي بعض الحوادث أو تقلل من خطورتها.

٤. الأكتاف الواسعة تشعر بإفساح الطريق مما يزيد ارتياح السائق، وتخفف من توتر أعصابه.

٥. تزيد مدى الرؤية في مناطق الحفر وتزيد الأمان.

٦. تهيئ الأماكن اللازمة لمهمات الصيانة.

٧. تساعد على تصريف المياه من سطح الطريق.

٨. تستخدم لتوسيع الطريق في المستقبل.

٤- ٦ البردورات

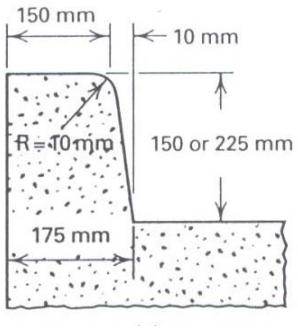
البردورات هي بروز أو حافة قائمة تستخدم لتحديد عرض الرصف وبذلك تساعد السائقين على القيادة الآمنة. ويكون استخدامها ضرورياً بالنسبة للطرق الحضرية وثانوياً بالنسبة للطرق الخلوية. ومن فوائد البردورات ما يلي:

- تحديد حافة الرصف.
- منع السيارات من الخروج عن الرصف في النقاط الخطرة.
- تنظيم عملية صرف المياه السطحية.
- تحسين الشكل النهائي للطريق.

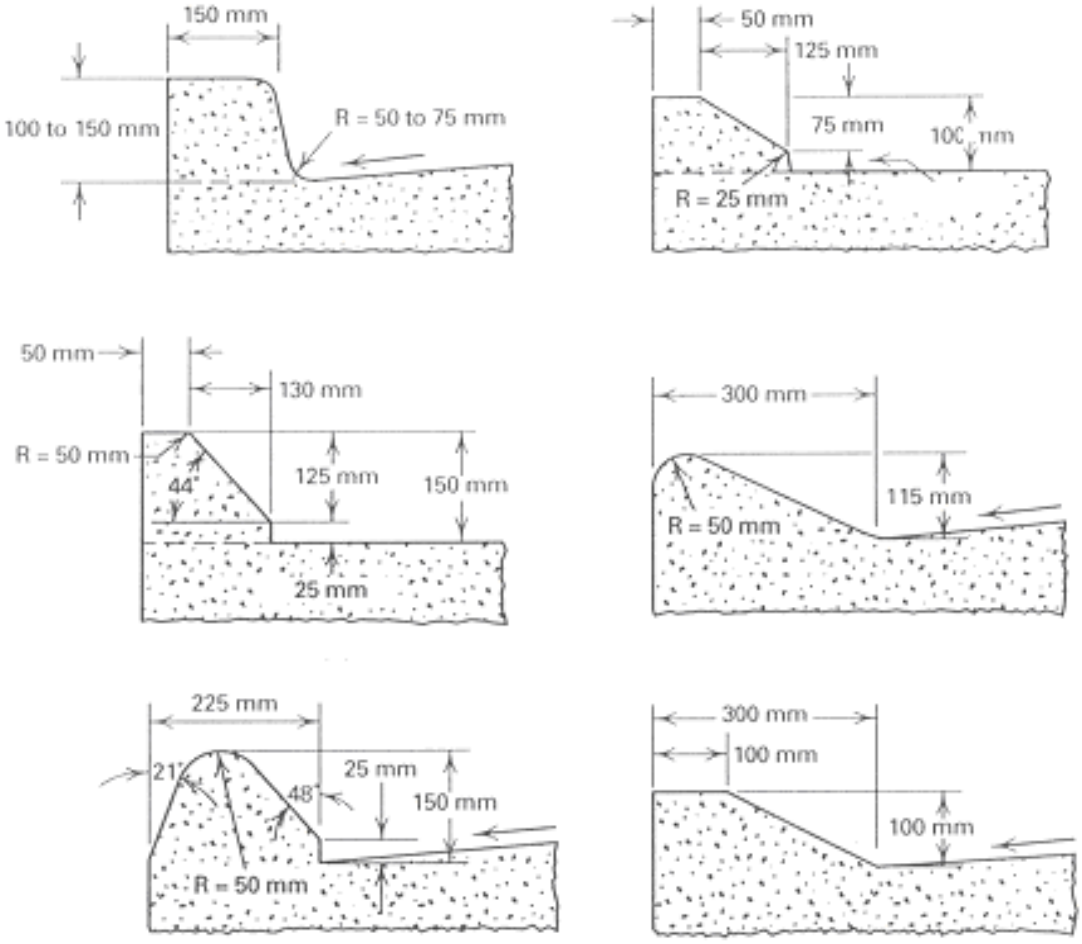
وهناك نوعان رئيسان من البردورات هما:

١. البردورات الحاجزة: وهي ذات وجه جانبي حاد الميل ومرتفع نسبياً وتستعمل عادة في الشوارع. وهي مصممة لمنع السيارات من الخروج عن الرصف ويتراوح ارتفاعها بين ١٥ إلى ٥٠ سم تقريباً. الشكل (٤- ٧) يبين نماذج لبردورات حاجزة.

٢. البردورات الغاطسة: وهي بردورات سطحية مصممة بحيث يسهل على العربات اجتيازها دون ارتجاج عنيف أو اختلال في القيادة. ويتراوح ارتفاعها من ١٠ إلى ١٥ سم وميل الوجه فيها ١:١ أو ١:٢ كما هو مبين في الشكل (٤- ٨). ويستخدم هذا النوع أساسًا في حالة الجزر الوسطى وفي الحافة الداخلية والأكتاف وفي حالة الطرق الخلوية.



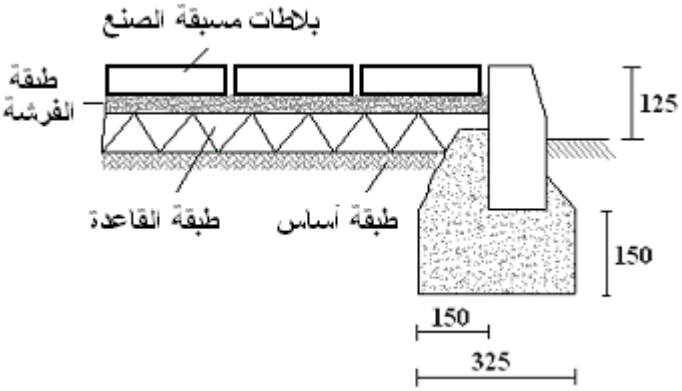
شكل (٤- ٧): نموذج من بردورات حاجزة.



شكل (٤- ٨): نماذج من بردورات غاطسة.

٤- ٧ أرصفة المشاة

تعتبر أرصفة المشاة جزءاً ضرورياً في حالة الطرق الحضرية وفي بعض المناطق الخلوية. وينبغي ألا يقل عرض الرصيف عن ١,٥ متر ويعمل من مواد تعطي مسطحاً ناعماً ومستوياً سليماً. ويجب أن يكون سطح الرصيف الذي يسير المشاة عليه مساوياً في الجودة أو أحسن حالة من سطح الرصف المخصص لطريق السيارات لجذب المشاة للسير عليه. الشكل (٤- ٩) يبين قطاعاً نموذجياً لرصيف مشاة .



شكل (٤- ٩): قطاع نموذجي لرصيف مشاة.

٤- ٨ الميول الجانبية

وهي الميول الخاصة بانحدار جانبي الطريق سواء الجسور أو القطع منها. ويتم تصميمها كآخر مرحلة من مراحل تصميم مقطع جسم الطريق ويفضل أن تكون منبسطة قدر الإمكان لضمان الأمان والاستقرار للمركبة في حالة خروجها عن الطريق وعبورها على الميل. وكلما كانت الميول الجانبية مناسبة لطبيعة التربة كلما كان الطريق أكثر استقرارا وثباتا. ويفضل أن تؤخذ الميول التالية في حالة الردم وفي حالة القطع:

أ) الردم الترابي:

ارتفاع الردم	الميل: (أفقي: عمودي)
أقل من ١ متر	١:٦
من ١ إلى ٣ متر	١:٤
من ٣ إلى ٤,٥ متر	١:٣
من ٤,٥ إلى ٦ متر	١:٢
أكثر من ٦ متر	١:١,٥

ب) القطع الترابي:

ارتفاع القطع	الميل: (أفقي: عمودي)
أقل من ٣ متر	١:٢
أكثر من ٣ متر	١:١

ج) القطع الصخري:

ارتفاع القطع	الميل: (أفقي: عمودي)
أقل من ١٠ متر	٣:١
من ١٠ إلى ٢٠ متر	٢:١

٤- ٩ الجزيرة الوسطى

تستخدم الجزر الوسطى لفصل حركة المرور المعاكسة ويتراوح عرضها بين ١,٢٥ مترًا و٢٠ مترًا أو أكثر حسب توفر المساحة وتوفر الأموال، لها عدة فوائد أساسية أهمها:

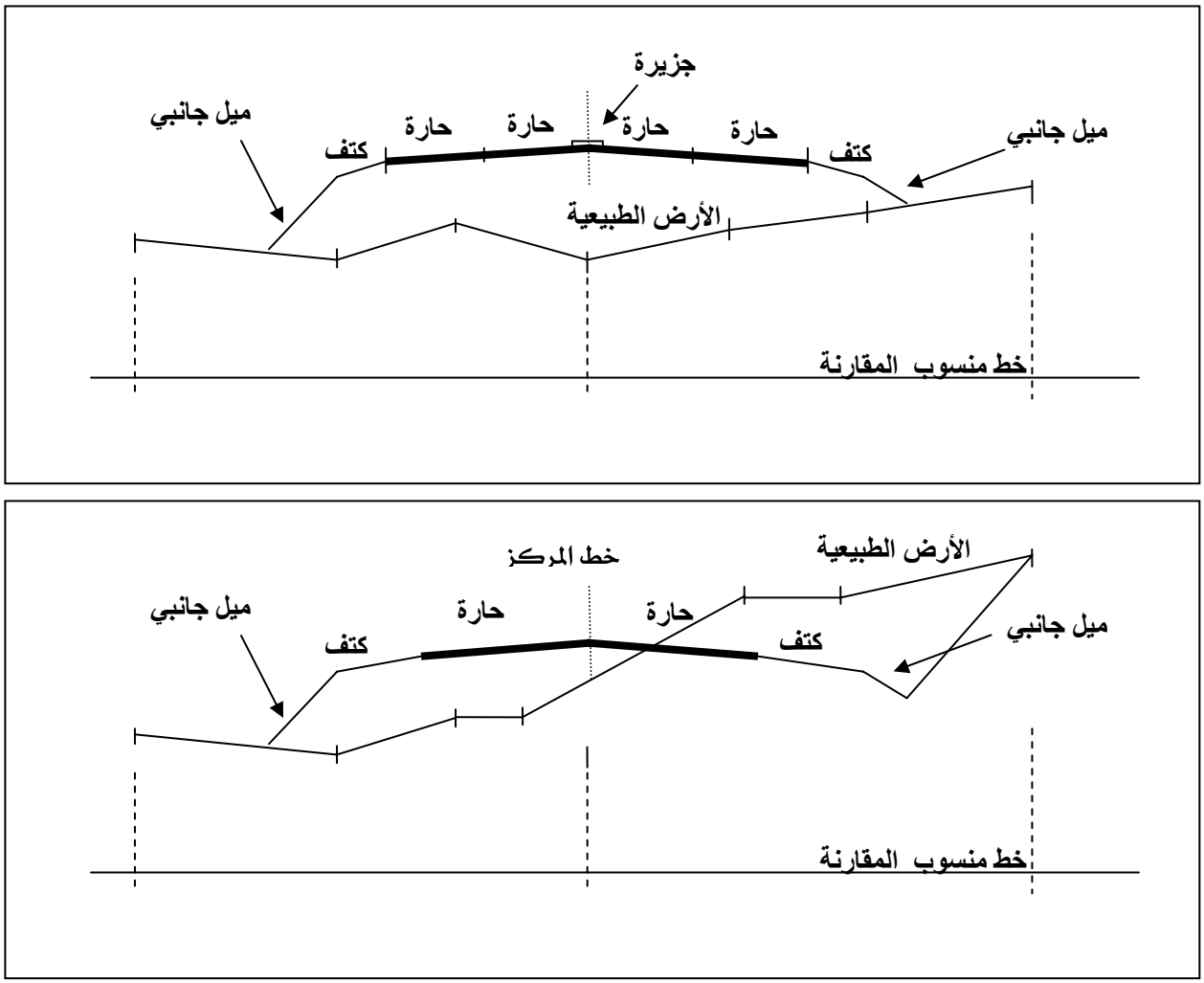
- حماية المركبات في الاتجاه المعاكس من التصادم.
- التقليل من تأثير الأضواء الصادرة من المرور المعاكس ليلاً.
- إمكانية التحكم في المناطق المسموح فيها بالدوران في حالة التقاطعات السطحية.

ويجب أن تكون الجزيرة واضحة للسير ومميزة في طبيعتها عن حارات السير حتى يراها السائق ويميزها كما هو مبين في الشكل (٤- ١٠)، ويستحسن جعلها عريضة كلما سمحت بذلك طبوغرافية الأرض والتكاليف.

شكل (٤- ١٠): نموذج لجزيرة وسطى.

٤- ١٠ القطاع العرضي النهائي للطرق

يبين القطاع العرضي النهائي للطريق الأرض الطبيعية ومناسيبها، وسطح الطريق النهائي، ومنسوب هذا السطح وميله. كما يحتوي القطاع على الأكتاف والميول الجانبية والجزيرة الوسطى ومناطق الجدران الساندة ويبين مناطق الحفر والردم. ويتم عمل قطاعات عرضية للطريق كل ٢٠ إلى ٢٥ متر تقريبا وكلما دعت الحاجة لذلك. وتحسب مساحات الحفر والردم من المقاطع العرضية ومنها يتم حساب حجم الحفر وحجم الردم في مسار الطريق. الشكل (٤- ١١) يبين نموذجاً لقطاع عرضي لطريق مقسمة.



شكل (٤- ١١): نماذج لقطاعات عرضية.

التقاطعات

٥- ١ مقدمة

التقاطع هو المساحة الناتجة عن تقاطع أو التقاء طريقين أو أكثر مع بعضها، وتستخدم لتسهيل عملية تغيير اتجاه سريان المرور. ويشكل التقاطع جزءًا هامًا من الطريق لأن الفعالية، والسلامة، والسرعة، وتكاليف التشغيل، وسعة الطريق كلها تعتمد بشكل كبير على التقاطعات.

٥- ٢ العوامل التي تؤثر في تصميم التقاطعات

يتوقف التصميم الهندسي للتقاطعات على عدة عوامل منها:

- حجم المرور على كل ذراع من أذرع التقاطع.
- تركيبة المرور عند التقاطع.
- أهمية الطرق المتقاطعة.
- السرعة التصميمية للطرق المتقاطعة.
- طبيعة حركة المركبات على التقاطع ودورانها.
- مدى الرغبة في التحكم بحركة السير.
- حركة المشاة.
- طبوغرافية المنطقة.
- مسافات الرؤية المتوفرة.
- تكاليف الإنشاء.

٥- ٣ أنواع التقاطعات

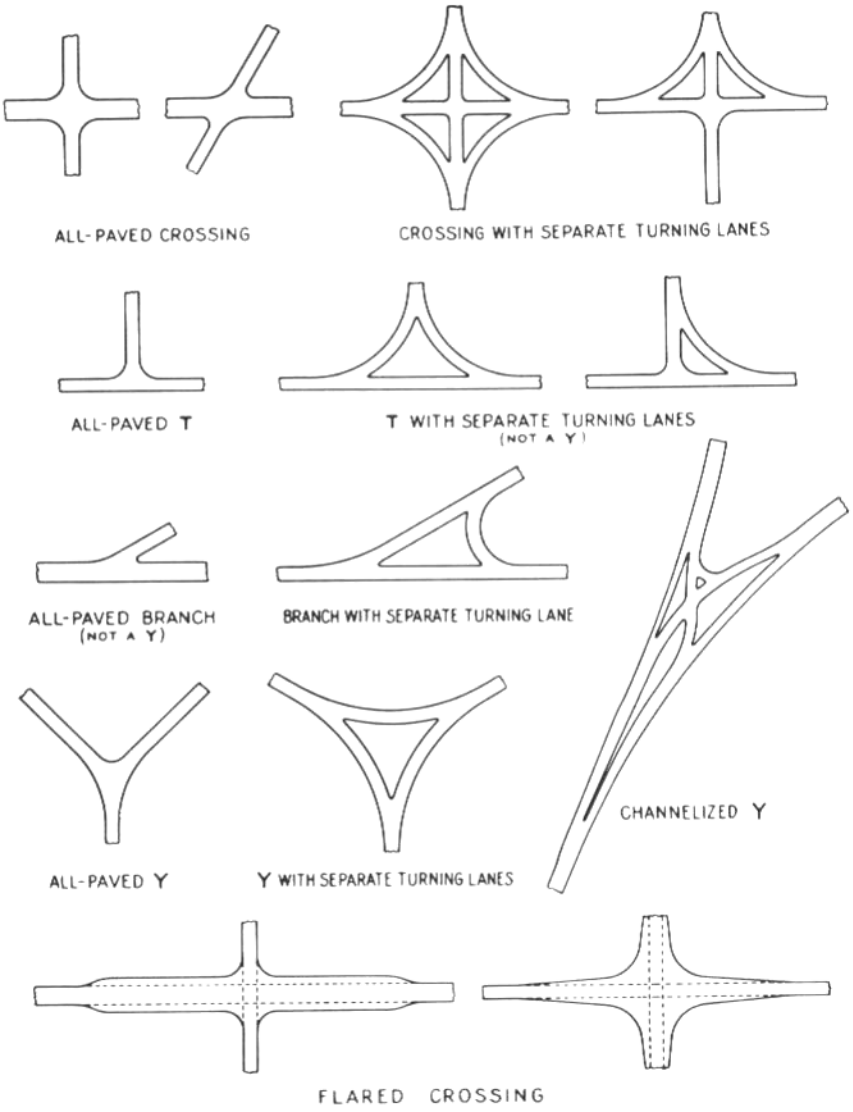
هناك عدة أنواع مختلفة من التقاطعات تكون إما على مستوى واحد وتسمى بالتقاطعات في نفس المستوى أو التقاطعات السطحية حيث تكون منطقة التقاطع جزءاً من كل طريق متقاطع ويتم مرور كل العربات على نفس المستوى في جميع الاتجاهات، وإما أن تكون على مستويين أو أكثر وتعرف

بالتقاطعات المنفصلة حيث تتقاطع الطرق فوق بعضها البعض على مستويات مختلفة بواسطة جسور علوية لا تسبب تعارض بين حركة المرور.

٥- ٣- ١ أنواع التقاطعات في نفس المستوى

هناك أنواع متعددة من التقاطعات في نفس المستوى أهمها:

١. التقاطع العادي بشكل (Y) (T) (+): يستعمل هذا النوع من التقاطعات في المناطق غير المزدحمة بالسير وهي رخيصة التكلفة وغير معقدة. ولتوضيح أولوية السير على الطريق الرئيس توضع إشارة (قف) على الطريق الثانوي. الشكل (٥- ١) يبين نماذج مختلفة لهذا النوع من التقاطعات السطحية.

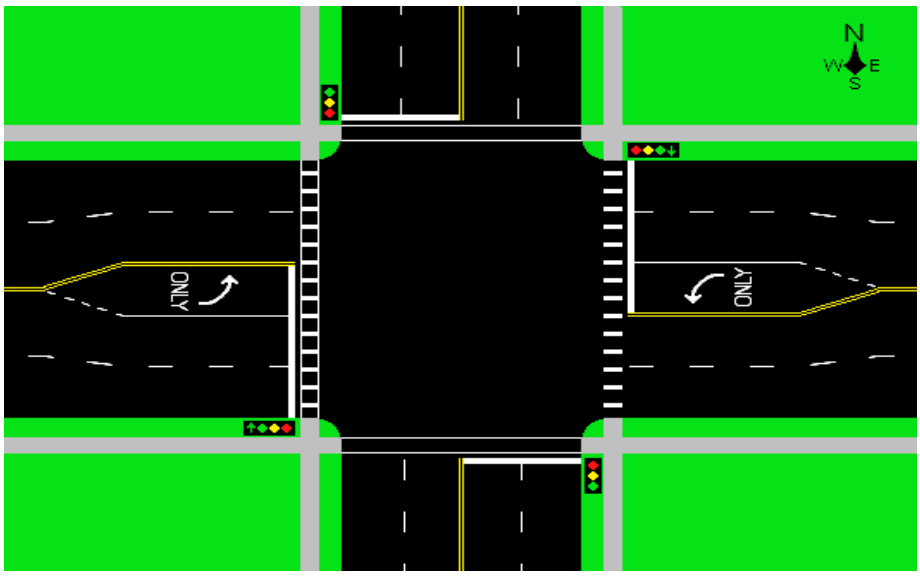


شكل (٥- ١): تقاطعات في نفس المستوى على شكل(Y) (T) (+).

٢. التقاطع الجرسي: يتم في هذا التقاطع توسيع الطريق الفرعية عند تقاطعها مع الطريق الرئيس ويشبه هذا التوسع شكل الجرس كما هو مبين في الشكل (٥- ٢).

شكل (٥- ٢): تقاطع جرسي.

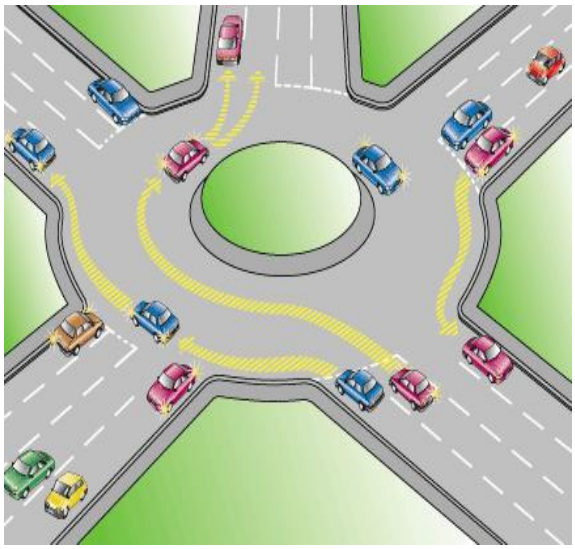
٣. التقاطع ذو القنوات: يستخدم التقاطع ذو القنوات في المناطق المزدحمة بالمرور حيث يتم توسيع شوارع التقاطع العادي وتقسيمه إلى مسارب أو قنوات بواسطة جزر أو بواسطة خطوط ترسم أو حواجز تقام لتنظيم عملية السير عند التقاطع أو تقسيمها كما هو مبين في الشكل (٥- ٣).

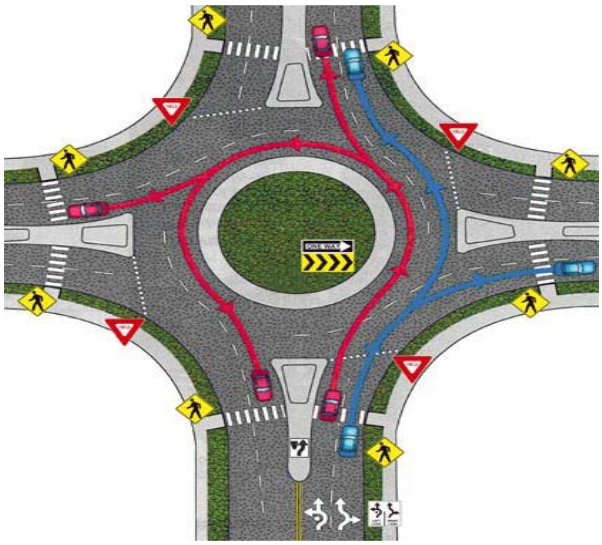


شكل (٥- ٣): تقاطع ذو القنوات.

٤. الدوار: وهو عبارة عن دائرة تتشعب منها عدة طرق ويكون في وسط الدائرة جزيرة. ويستخدم هذا النوع من التقاطعات في المناطق المزدحمة بالمرور حيث يؤدي الدوار إلى تنظم حركة المرور وعدم

التوقف وسهولة التوجه إلى اليمين أو التيار. الشكل (٥- ٤) يبين نماذج مختلفة لتقاطعات عن طريق الدوار.





شكل (٥- ٤): تقاطع عن طريق الدوار.

٥. التقاطع ذو الإشارات الضوئية: وهو تقاطع مزود بإشارات ضوئية تنظيم حركة المرور وتسمح بسير المركبات بالترتيب بطريقة مبرمجة.

شكل (٥- ٥): تقاطع ذو الإشارات الضوئية.

٥- ٣- ٢ أشكال التقاطعات في مستويات منفصلة

تستخدم التقاطعات في مستويات منفصلة (أو معزولة) عندما يكون حجم المرور كثيفاً جداً على التقاطع فيتم فصل الطريقين المتقاطعين على مستويين مختلفين بحيث تمر إحداهما فوق الأخرى بواسطة جسور علوية وبذلك لا يحدث تعارض بين حركة المرور. وهناك أشكال كثيرة ومتنوعة للتقاطعات المعزولة كما هو موضح في الشكل (٥- ٦) واستخدام أيهما لموقع معين يتوقف على عدد الشوارع المتقاطعة، وحجم المرور المتوقع، وطبوغرافية المنطقة.

شكل (٥- ٦): تقاطعات في مستويات منفصلة.

أعمال دمك التربة لغرض إنشاء الطرق

٦- ٢- الغرض من دمك التربة

الدمك هو عملية طرد الهواء من فراغات التربة باستخدام وسائل ميكانيكية مختلفة ينتج عنها زيادة في كثافة التربة وقدرة تحملها للإجهاد ونقص في نسبة هبوطها. ويعد الدمك من أهم العمليات التي تستخدم في مجال الطرق والسدود الترابية. وتهدف عملية الدمك في مجملها إلى تحسين الخواص الهندسية للتربة من خلال تحقيق المتطلبات التالية:

١. الزيادة في مقدار تحمل التربة للإجهادات.

٢. التقليل في حجم الفراغات الموجود بالتربة ومن ثم الحد من هبوط التربة.

٣. التحكم في التغيرات الحجمية للتربة من حيث الانكماش والانتفاخ.

٤. الزيادة في عامل الأمان ضد انزلاقات التربة.

٥. خفض نفاذية التربة للمياه.

وكانت عملية دمك التربة تتم بطريقة غير مدروسة ومعرضة لكثير من المحاولات التي ينتج عنها بعض الأخطاء، حتى عام 1930 تقريباً حينما استطاع مهندس أمريكي يدعى بروكتور أن يحدد مجموعة عوامل ترتبط بدمك التربة وهي:

١. الكثافة الجافة (γ_d).

٢. المحتوى المائي (w).

٣. الجهد المبذول للدمك (طاقة الدمك).

٤. نوع التربة.

٦- ٢- ختبارات الدمك المعملية

هنالك العديد من الاختبارات المعملية التي تعتمد على طريقة ونوع الدمك وتهدف في مجملها إلى إيجاد قياس يكون أساساً لعملية الدمك في الموقع، ومن أهمها:

١. اختبار بروكتور القياسي

٢. اختبار بروكتور المعدل

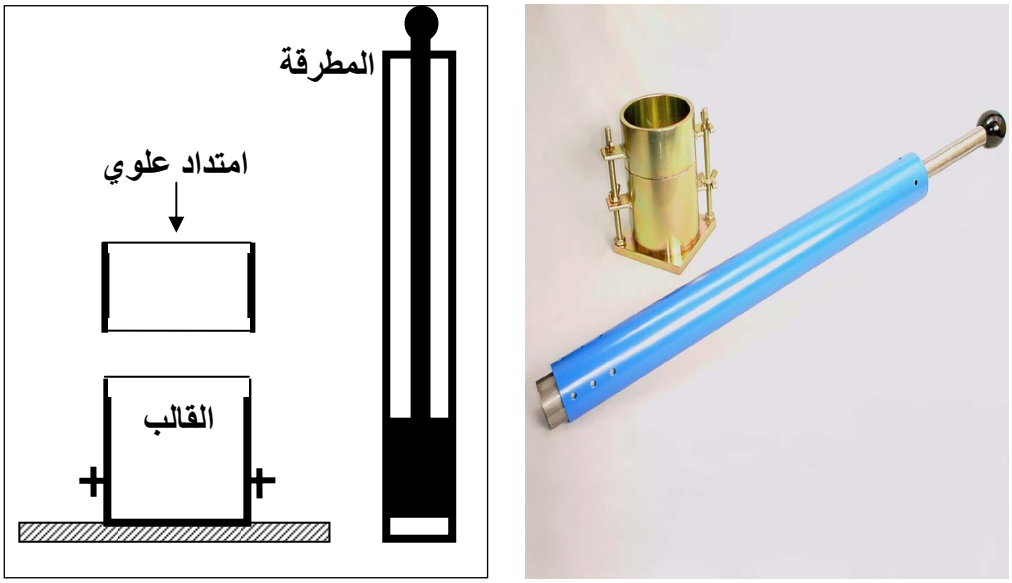
٣. اختبار هارفرد

٤. الاختبار الاستاتيكي

ويعد اختبار بروكتور القياسي واختبار بروكتور المعدل من أهم اختبارات الدمك المعملية. وبروكتور هو أول من طور تجارب الدمك وأدخل عليها الأسلوب العلمي. واستنتج بروكتور من خلال أبحاثه المتنوعة في هذا المجال أن درجة دمك التربة تعتمد على الكثافة الجافة والمحتوى المائي والتوزيع الحبيبي للتربة وكذلك على طاقة الدمك المستعملة.

أ) اختبار بروكتور القياسي (Standard Proctor Test)

يستخدم في هذا الاختبار جهاز بروكتور الموضح في الشكل (٦- ١).



شكل (٦- ١): جهاز بروكتور.

يتكون جهاز بروكتور من جزأين رئيسن هما:

١) قالب أسطواني لدمك التربة قطره ١٠,٢ سم وارتفاعه ١١,٦ سم وله امتداد علوي ارتفاعه ٦ سم.

٢) مطرقة يتم بواسطتها دمك العينة ووزنها ٢,٤٩ كجم تسقط من ارتفاع ٣٠,٥ سم.

ولإجراء هذا لاختبار نتبع الخطوات التالية:

١. تجفيف التربة المراد اختبارها.

٢. إضافة كمية من الماء إلى عينة من هذه التربة ثم خلطها جيدا.

٣. وضع العينة في القالب على ثلاث طبقات بحيث تدمك كل طبقة ٢٥ ضربة بواسطة المطرقة.

٤. وزن العينة وحساب الكثافة الرطبة(γ) لها.

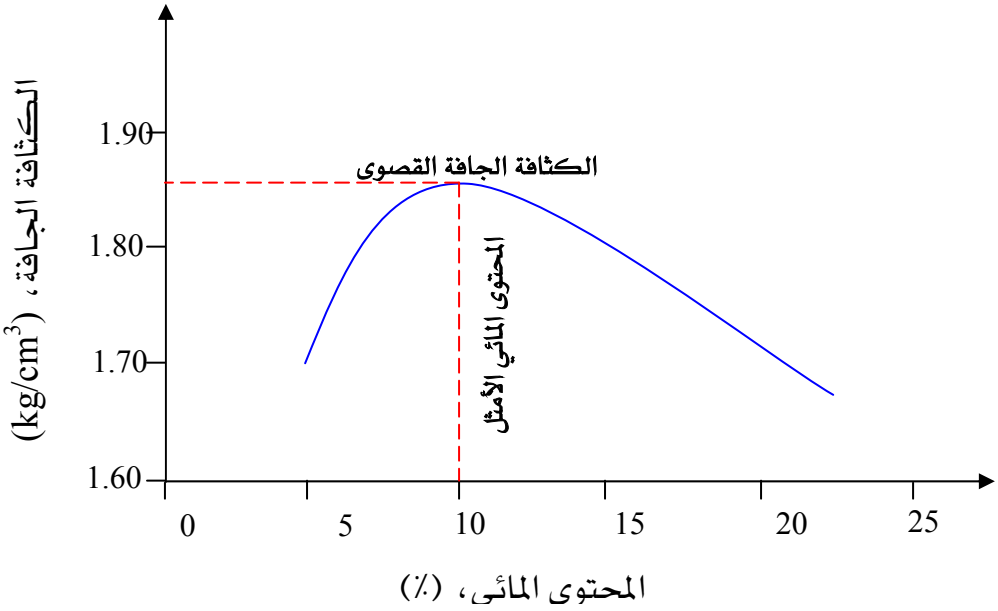
٥. حساب الكثافة الجافة للعينة (γ_d) من العلاقة:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w}{100}}$$

٦. تكرار التجربة عدة مرات بزيادة المحتوى المائي في كل مرة للعينات وتحديد الكثافة الجافة.

٧. رسم العلاقة بين الكثافة الجافة (γ_d) والمحتوى المائي (w) كما هو مبين في الشكل (٦- ٢).

٨. تعين الكثافة الجافة القصوى ($\gamma_{d\text{-}max}$) والمحتوى المائي الحرج أو الأمثل للتربة (OMC) من خلال منحنى الدمك (w - γ_d).



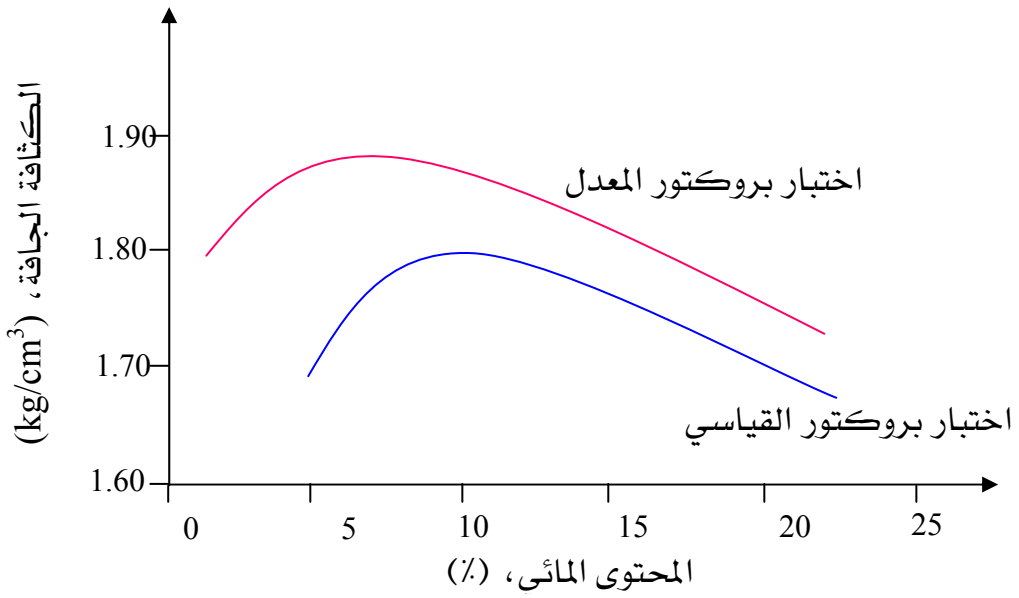
شكل (٦- ٢): منحنى الدمك.

ب) اختبار بروكتور المعدل (Modified Proctor Test)

مع زيادة حجم المرور وكبر حمولة العربات تبين أن الكثافة الجافة للتربة المحددة عن طريق اختبار بروكتور القياسي لا تعطي المقاومة الكافية لتحمل تلك الأثقال العالية. لذا أحدث الاتحاد الأمريكي لموظفي الطرق الحكومية (AASHTO) تطورا في مواصفات اختبار بروكتور القياسي للحصول على أعلى كثافة جافة للتربة. وأصبح هذا الاختبار يعرف باختبار بروكتور المعدل و شمل التطورات التالية مقارنة باختبار بروكتور القياسي:

١. وزن المطرقة = ٤,٥٤ كجم.
٢. ارتفاع سقوط المطرقة = ٤٥,٧ سم.
٣. وضع العينة على ٥ طبقات.

ويتم اختبار بروكتور المعدل بنفس الطريقة التي يتم بها اختبار بروكتور القياسي مع الأخذ بعين الاعتبار دمك العينة على خمس طبقات، ثم ترسم العلاقة بين الكثافة الجافة والمحتوى المائي وتحدد الكثافة الجافة القصوى والمحتوى المائي الأمثل للتربة. ويتضح من الشكل (٦- ٣) أنه كلما زاد جهد الدمك كلما حصلنا على أكبر كثافة جافة للتربة بأقل محتوى رطوبة.



شكل (٦- ٣): مقارنة بين اختباري بروكتور القياسي وبروكتور المعدل.

مثال:

الجدول (٦- ١) يبين نتائج اختبار بروكتور القياسي. والمطلوب تحديد أقصى كثافة جافة ونسبة المياه الحرجة المناظرة لها.

جدول (٦- ١): معطيات المثال.

رقم العينة	وزن التربة في القالب (جم)	نسبة المحتوى المائي (٪)
١	1847.71	6.00
٢	2000.37	8.00
٣	2163.13	10.58
٤	2188.75	12.90
٥	2097.81	15.68
٦	2012.74	17.78

الحل:

تحسب كثافة التربة لكل عينة من العلاقة: $\gamma = \frac{W}{V_m}$

حجم القالب ثابت ومعطى في المثال ($V_m = 943.3\ \text{cm}^3$) وكذلك وزن عينات التربة.

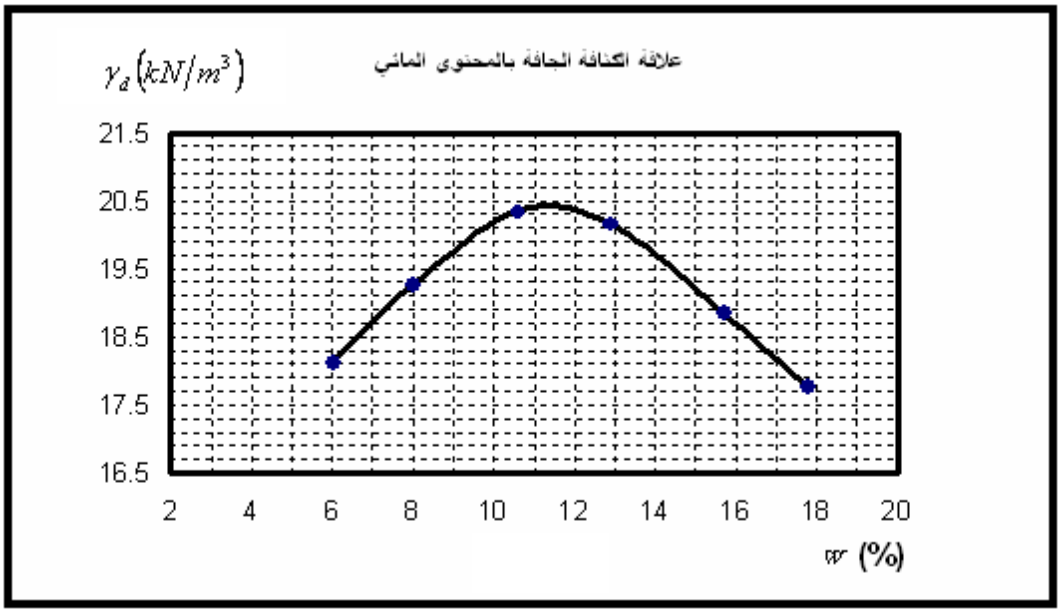
بمعرفة كثافة التربة الرطبة يتم تحديد الكثافة الجافة لكل عينة من خلال العلاقة الموضحة في المعادلة التالية: $\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w}{100}}$

الجدول (٦- ٢) يبين خطوات الحل لهذا المثال مع الأخذ في الاعتبار تحويل الوحدات من gm/cm^3 إلى kN/m^3. فيما يوضح الشكل (٦- ٤) العلاقة بين أقصى كثافة جافة للتربة ونسبة المياه الحرجة المناظرة لها، ومن هذا الشكل نستنتج الكثافة الجافة القصوى والمحتوى المائي الحرج للتربة:

$$\gamma_{d-\max} = 20.43\ kN/m^3$$
$$OMC = 11.40\ \%$$

جدول (٦- ٢): خطوات حل المثال.

رقم العينة	المحتوى المائي (%)	وزن التربة (gm)	حجم القالب (cm^3)	الكثافة الرطبة (gm/cm^3)	الكثافة الرطبة (kN/m^3)	الكثافة الجافة (kN/m^3)
1	6.00	1847.71	943.30	1.96	19.22	18.13
2	8.00	2000.37	943.30	2.12	20.80	19.26
3	10.58	2163.13	943.30	2.29	22.50	20.34
4	12.89	2188.75	943.30	2.32	22.76	20.16
5	15.68	2097.81	943.30	2.22	21.82	18.86
6	17.78	2012.74	943.30	2.13	20.93	17.77



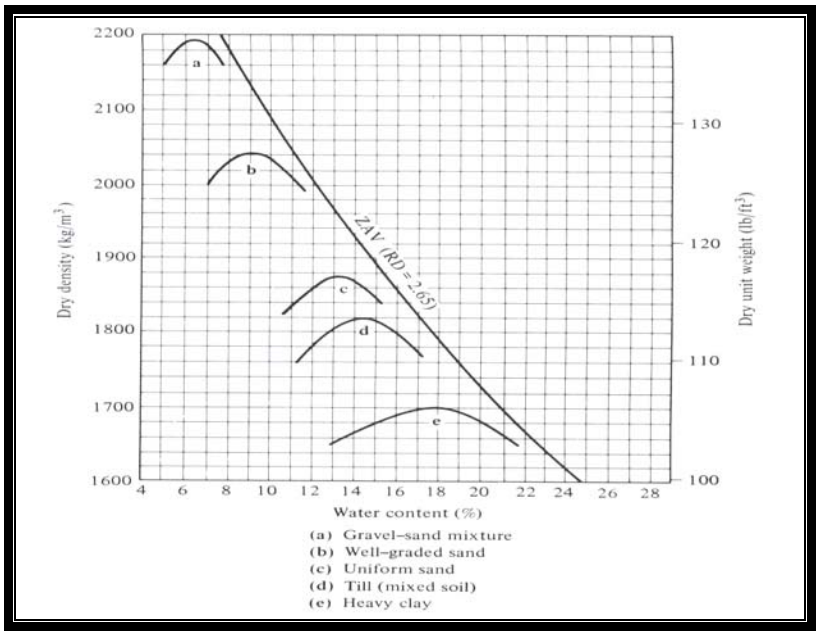
شكل (٦- ٤): منحنى الدمك.

٦- ٣- العوامل المؤثرة على كثافة الدمك

تحت تأثير أي جهد لدمك التربة فإن الكثافة الجافة للتربة تتغير حسب محتواها المائي. فعندما يكون المحتوى المائي للتربة $w = 0$ فإن الكثافة الرطبة تساوي الكثافة الجافة. وبزيادة نسبة المحتوى المائي للتربة تدريجياً فإن كثافتها الجافة تزيد عند نفس جهد الدمك. وهذا يعود إلى أن دمك التربة يعمل على طرد الهواء الموجود في فراغات التربة، حيث يترك ذلك إمكانية لحبيبات التربة أن تنزلق إلى تلك الفراغات وتأخذ الوضع الذي يؤدي إلى زيادة كثافة التربة بالإضافة إلى وجود الماء بين الحبيبات. وطالما هناك إمكانية لطرد الهواء فإن الكثافة الجافة تزيد بزيادة المحتوى المائي للتربة حتى تصل إلى أعلى قيمة لها. بعد ذلك تبدأ الكثافة الجافة بالانخفاض تدريجياً نتيجة أن الماء يبدأ في الإحلال بدلاً من الحبيبات الصلبة للتربة، لأن الماء لا ينضغط بل يتحرك من خلال فراغات التربة. وتعد نسبة المياه الحرجة حد فاصل، فإذا كان المحتوى المائي للتربة أقل من هذا الحد فإن التربة تكون خشنة وصعبة الدمك وذات فراغات كثيرة تؤدي إلى انخفاض كثافتها الجافة، أما إذا كان المحتوى المائي أعلى من هذا الحد فإن حبيبات التربة تكون قابلة للحركة والانزلاق والتباعد مما يؤدي إلى انخفاض كثافتها الجافة أيضاً.

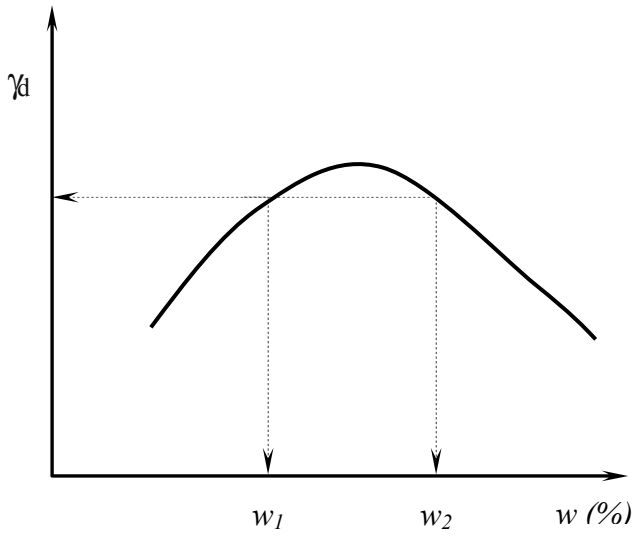
وباستخدام أي نوع من اختبارات الدمك فإن الخواص الهندسية للتربة المدموكة وتركيبة حبيباتها تتأثر مباشرة بعدة عوامل أهمها:

١) **<u>نوع التربة</u>**: تتأثر عملية دمك التربة بحسب نوعها وخواص حبيباتها مثل شكل الحبيبات وتوزيعها والوزن النوعي لها ونسبة المواد الطينية بها. والشكل (٦- ٥) يوضح المنحنيات التي تربط بين الكثافة الجافة والمحتوى المائي لخمسة أنواع من التربة بحسب تكوينها. فعلى سبيل المثال التربة ذات الخليط من الحصى والرمل لها أعلى كثافة جافة وأقل محتوى مائي مقارنة بالتربة الطينية الثقيلة التي لها أقل كثافة جافة وأعلى محتوى مائي.



شكل (٦- ٥): منحنيات الدمك لأنواع التربة

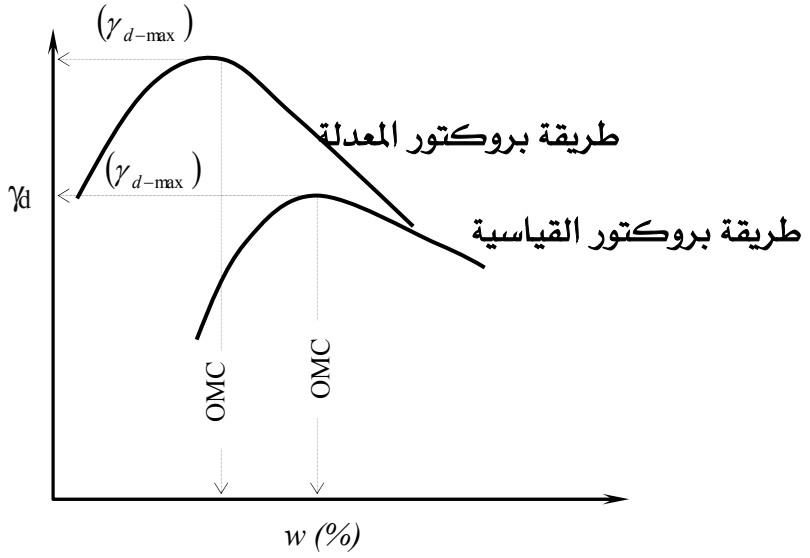
٢) **<u>المحتوى المائي</u>**: المحتوى المائي للتربة هو العامل الرئيس للحصول على أقصى كثافة جافة للتربة تحت تأثير درجة دمك معينة. ويزيد المحتوى المائي لعينات التربة المستخدمة بهدف الحصول على نسبة المياه الحرجة والمثالية للدمك. ومن خلال المنحنى الذي يربط الكثافة الجافة مع نسبة المحتوى المائي للتربة فإنه عند أي قيمة للكثافة الجافة هناك قيمتاين للمحتوى المائي w_1 و w_2



كما يوضحه الشكل (٦- ٦)، عدا أقصى كثافة جافة فإنها تعطي قيمة واحدة وهي نسبة المياه الحرجة (OMC). وهذه دلالة على مدى تأثير عامل المحتوى المائي على دمك التربة.

شكل (٦- ٦): تأثير المحتوى المائي على دمك التربة.

٣) **<u>طاقة الدمك</u>**: وتعرف على أنها الجهد المبذول للدمك، وتعد من المعايير التي يمكن من خلالها الحكم على جودة دمك التربة. ومن الملاحظ في الشكل (٦- ٧) أن الزيادة في طاقة الدمك تؤدي إلى زيادة في الكثافة الجافة ونقصان في نسبة المحتوى المائي لجميع أنواع التربة وهذا واضح في الفرق بين اختبار بروكتور القياسي واختبار بروكتور المعدل، حيث إن طاقة الدمك الناتجة عن اختبار بروكتور المعدل تزيد بأربعة أضعاف الطاقة التي ينتجها اختبار بروكتور القياسي.



شكل (٦- ٧): تأثير طاقة الدمك على أقصى كثافة جافة ونسبة المياه الحرجة

٦- ٤- اشتراطات الدمك الحقلي

يجب أن تدمك الطبقات دمكًا جيدًا حتى نحصل على الكثافة الجافة القصوى، وإن لم تدمك التربة جيدًا فإن حركة المرور ستقوم بركها وإحداث تشوهات فيها. وعندما تدمك التربة فإن ذلك يؤدي إلى تقليل الفراغات وتقريب الحبيبات من بعضها والتقليل من التغيرات في محتوى الرطوبة فينتج عن ذلك قوة وثباتًا للتربة. ولذلك فتجب معرفة العلاقة بين الكثافة الجافة القصوى والمحتوى المائي وقوة الدمك اللازمة، لأن كل هذه العناصر مرتبطة ببعضها ارتباطًا وثيقًا.

٦- ٥- تنفيذ الدمك الحقلي

لتنفيذ الدمك الحقلي نتبع الخطوات التالية:

١. تحضير المخططات ودراستها ورسم خطة عمل.

٢. تنظيف الموقع وإزالة الأوباش والمخلفات.

٣. اختيار المداحل المناسبة للدمك مع أخذ نوع التربة بعين الاعتبار.

٤. إجراء تجارب أولية في الموقع على الطبيعة بالمقياس الكامل لتحديد نسبة الماء الحرجة الواجب اتباعها وعدد الأشواط اللازم لدمك التربة إلى الكثافة القصوى المطلوبة.

٥. وضع التربة على طبقات بسمك ٢٠ إلى ٣٠ سم.

٦. رش كل طبقة بكمية الماء اللازمة ثم خلطها جيدًا.

٧. دمك طبقة التربة بالمدحل المناسب لها.

٨. عمل فحوصات على الطبقة المدموكة لمعرفة درجة الدمك.

٩. إذا كانت درجة الدمك كافية فإننا نستمر في عملية الإنشاء وإلا يعاد حرث الطبقة ومن ثم رشها ودحلها وإعادة فحصها.

١٠.بعد الانتهاء من دمك التربة تجب تسوية سطحها بشكل نهائي قبل وضع طبقات الرصف.

٦- ٦- طرق الدمك الحقلي بالوسائل الميكانيكية

يتم دمك التربة في الموقع بواسطة معدات ميكانيكية مخصصة لهذا الغرض يرتبط استخدام كل منها بنوع التربة، وسماكة الطبقة، والكثافة المطلوبة، ويترك للمقاول اختيار النوع المناسب من المداحل والمعدات اللازمة لذلك. ولتنفيذ الدمك الحقلي يجب أن يكون الردم على طبقات تتراوح سماكتها ما بين ٢٠ إلى ٣٠ سم حيث تفرش كل طبقة ثم ترش بالماء وتخلط بواسطة آلة التسوية ثم تدحل عدة أشواط بأحد المداحل الخاصة بذلك إلى أن نحصل على الكثافة القصوى اللازمة. إن كثافة التربة تزداد بزيادة الماء إلى حد معين وبعد ذلك تعود الكثافة للنقصان مع زيادة الماء كما تم توضيحه في الشكل (٦- ٦). وقد تكون كميات الماء الطبيعية الموجودة في التربة كافية للدمك وقد تضطر إلى إضافة بعض الماء لإكمال النقص، وإذا زادت كمية الماء عن المطلوب فإنه تجب تهوية التربة حتى نتخلص من هذه الزيادة. كما أن عدد الأشواط اللازم للمدحلة يزيد من الدمك بسرعة في البداية ثم يقل تأثيرها تدريجيًا.

٦- ٧- أنواع معدات الدمك الحقلي

تختلف معدات دمك التربة في الموقع من حيث طريقة استخدامها، فمنها ما يعتمد على الضغط ومنها ما يعتمد على الاهتزاز، ومن أهم هذه المعدات ما يلي:

١. **مداحل أسطوانية ملساء**: وتعرف أيضا بهراسات العجلات الثلاثة ويوجد منها أوزان مختلفة من ٨ إلى ١٢ طن ويفضل استخدامها في دمك التربة المفككة مثل التربة الرملية والحصى بكفاءة أعلى من دمك التربة الطينية المتماسكة. والعجلة الأسطوانية لهذه المعدة تغطي التربة التي تحتها بالكامل، وتستخدم كذلك في نهو السطح العلوي للطبقة بعد دمكها. الشكل (٦- ٨) يبين نموذج من الهراسات الملساء.

شكل (٦- ٨): مدحلة أسطوانية ملساء.

٢. **مداحل بعجلات مطاطية**: وتتكون من عدة إطارات مطاطية منفوخة تغطي ما نسبته 80 % من التربة التي تحتها ويختلف وزنها فمنها ما هو صغير يستخدم في نهو السطح العلوي ومنها ما هو ثقيل قد يصل وزنه إلى ٢٠٠ طنا يستخدم في دمك التربة الأصلية وطبقات الأساس. كما أن عجلات هذه المعدة ممكن أن تولد ضغطاً على التربة يصل إلى $700\ kN/m^2$. الشكل (٦- ٩) يبين نموذجاً من المداحل بعجلات مطاطية.

شكل (٦- ٩): مدحلة بعجلات مطاطية.

٣. **مداحل أرجل الغنم**: وتعرف بهذا الاسم لأنها تحتوي على بروز في عجلاتها تشبه أرجل الغنم تغطي ما نسبته 12 % من التربة التي تحتها.، وتولد ضغطاً على التربة يتراوح من 1400 إلى $7000\ kN/m^2$. ويستخدم هذا النوع من المعدات بكفاءة في دمك التربة الطينية ولا يفضل استخدامها في دمك التربة المفككة. ويتطلب استخدام هذه المعدة أن يكون هناك مسارات متكررة حتى يمكن تغطية الفراغات على طبقة التربة نتيجة البروز الموجود على هذه العجلات. الشكل (٦- ١٠) يبين نموذجاً من مداخل أرجل الغنم.

شكل (٦- ١٠): مدحلة أرجل الغنم.

٤. **مداحل اهتزازية**: وهي معدات صغيرة نسبيا تعمل ذاتيا بمحرك يحدث حركات اهتزازية متكررة على سطح الأرض. وتستخدم عموما في دمك التربة والإسفلت في الأماكن التي لا تتسع للمعدات الكبيرة ويفضل استخدامها في دمك التربة المفككة وفي دمك الأحجار. الشكل (٦- ١١) يبين نموذج من المداحل الإهتزازية.

شكل (٦- ١١): مدحلة اهتزازية.

٦- ٨- معايير وطرق استلام الدمك في الموقع

للحكم على جودة الدمك في الموقع يجب تعيين الكثافة الجافة في الموقع ومقارنتها بالكثافة الجافة القصوى المعملية وتتم هذه المقارنة بحساب نسبة الدمك (أو الدمك النسبي) من العلاقة التالية:

$$RC(\%) = \frac{\gamma_{d(field)}}{\gamma_{d-\max(lab)}} \times 100$$

حيث:

RC = نسبة الدمك.

$\gamma_{d(field)}$ = الكثافة الجافة للتربة في الحقل.

$\gamma_{d-\max(lab)}$ = أقصى كثافة جافة للتربة في المعمل.

وتعرف نسبة الدمك أيضا بدرجة الدمك أو النسبة بين الكثافة الجافة الموقعية إلى الكثافة الجافة القصوى وتكون في أعمال الطرق بين 90 % إلى 100 %.

٦- ٨- ١ الكثافة الجافة الموقعية

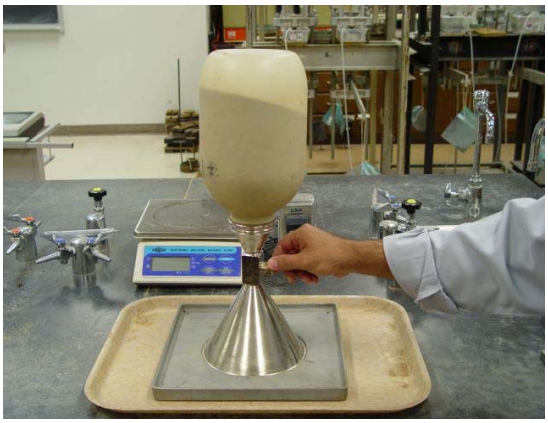
يتم قياس الكثافة الجافة الموقعية بإحدى الطرق التالية:

١. اختبار مخروط الرمل.

٢. اختبار الكثافة النووي.

١) اختبار مخروط الرمل:

تعتمد هذه الطريقة على الحصول على حجم معين من التربة المدموكة وإيجاد وزن هذا الحجم ومنه تعيين الكثافة. ويستخدم في هذا الاختبار قارورة بلاستيكية أو زجاجية مملوءة برمل جاف من نوع أوتاوا معلوم الكثافة (γ_{sand}) وملحقة بمخروط معدني كما هو مبين في الشكل (٦- ١٢).



شكل (٦- ١٢): اختبار مخروط الرمل.

ولإجراء الاختبار نقوم بالخطوات التالية:

- يسوى سطح الموقع المراد حساب الكثافة فيه وتزال جميع المواد السطحية غير المرغوب فيها.
- يتم حفر حفرة متوسطة الحجم في التربة المدموكة واستخراج التربة منها.
- وزن التربة المستخرجة بعناية (W_{soil}) وتحديد محتوى رطوبتها (w).
- وضع مخروط الرمل على الحفرة وملؤها بالرمل ثم وزن الرمل المعبأ في الحفرة.
- تعيين حجم التربة المستخرجة وذلك من خلال وزن الرمل وكثافة الرمل المعبأ داخل الحفرة (V_{hole}) :

$$V_{hole} = \frac{W_{Sand}}{\gamma_{Sand}}$$

- حساب الكثافة الرطبة للتربة: $\gamma_h = \frac{W_h}{V_{soil}}$
- حساب الكثافة الجافة للتربة: $\gamma_d = \frac{\gamma_h}{(1 + \frac{w}{100})}$
- حساب نسبة الدمك: $RC(\%) = \frac{\gamma_{d(field)}}{\gamma_{d-\max(lab)}} \times 100$

مثال:

باستخدام طريقة مخروط الرمل أوجد الكثافة الجافة للتربة المدموكة في الموقع إذا علمت أن:

كثافة الرمل المستخدم: $\gamma_{sand} = 1.46\, gm/cm^3$

وزن الرمل المستخدم: $W_{sand} = 468.7\ gm$

وزن التربة بعد تجفيفها: $W_{dry-soil} = 618.3\ gm$

الحل:

- حجم حفرة الاختبار: $V_{hole} = \frac{W_{sand}}{\gamma_{sand}} = \frac{468.7}{1.46} = 321.0\ cm^3$
- الكثافة الجافة للتربة: $\gamma_d = \frac{W_{dry-soil}}{V_{hole}} = \frac{618.3}{321.0} = 1.93\ gm/cm^3 \approx 19.3\ kN/m^3$

٢) اختبار الكثافة النووي:

يستخدم في هذا الاختبار جهاز نووي تم تطويره لقياس الكثافة الجافة في الموقع ومحتوى الرطوبة لجميع أنواع التربة. ولإجراء الاختبار يتم وضع هذا الجهاز مباشرة على سطح الأرض فيرسل أشعة جاما عالية السرعة تخترق الطبقات المختلفة للتربة وتحدد كثافتها ومحتوى الرطوبة لكل طبقة. ومن فوائد هذا الاختبار أنه يسمح بتعيين الكثافة الموقعية بسرعة في عدة نقاط في الموقع دون القيام بعمليات الحفر وباقي العمليات التي يتطلبها اختبار مخروط الرمل في كل مرة. ولكن بالرغم من ذلك فإن هذا الاختبار قد يفتقد إلى الدقة في بعض الأحيان مقارنةً باختبار مخروط الرمل، وذلك بسبب التدني في دقة الجهاز

نفسه بسبب سوء الاستعمال. وعليه فيجب القيام بمعايرة الجهاز في فترات قصيرة من الاستعمال وذلك للتأكد من دقة الجهاز وكذلك دقة النتائج المتحصل عليها.

المواد الإسفلتية

٧- ١ أنوع المواد الإسفلتية ومجال استخدام كل منها

الإسفلت هو مادة كربوهيدراتية لاصقة مركبة من الهيدروجين والكربون لونه أسود ويصبح سائلاً إذا تم تسخينه ويعرف كذلك بالبيتومين. وتستعمل المواد البيتومينية عموما في أعمال السفلتة إما برشها على السطح المراد سفلتتة وإما بخلطها بالركام والرمل في خلاطات خاصة ثم فرشها على شكل طبقات. كما يستعمل البيتومين كطبقة عازلة لمنع تسرب الماء ونفاذه. ويتم الحصول على المواد الإسفلتية إما من البترول الخام بطريقة التقطير بالتخلخل وإما من مصادر طبيعية مثل بحيرات الإسفلت الصخري ويمكن تقسيمه إلى التالي:

٧- ١- ١ الإسفلت الإسمنتي

يتم الحصول على الإسفلت الإسمنتي من خلال عمليات تقطير الزيت الخام، وينتج عن ذلك أنواعٌ صلبة وأخرى لينة حسب درجة التقطير التي وصل إليها. وتعرف هذه الأنواع حسب درجة الغرز التي يحددها اختبار الغرز وتكون مابين (٦٠/٧٠) بالنسبة للنوع الصلب وما بين (٢٠٠/٣٠٠) للنوع اللين. ولاستعمال هذا الإسفلت يجب تسخينه على درجة حرارة عالية نسبيًا وقد يتطلب الأمر تسخين الحصمة قبل وضع الغسفلت عليها. ويستعمل هذا الإسفلت عمومًا في خلطات الإسفلت، أو للرش على سطح قديم أو جديد ثم تغطيته بالحصمة، كما يمكن استعماله كوجه لاصق وفي أعمال المعالجة السطحية.

٧- ١- ٢ الإسفلت السائل

يتم الحصول على الإسفلتات السائلة بإضافة مذيبات مثل البنزين أو الديزل إلى البيتومينات الصلبة في درجة حرارة تتراوح بين ١٥٠ و ٢٠٠ درجة مئوية. وتتفاوت درجة حرارة غليان هذا الإسفلت بين ١٢٠ و١٤٠ درجة مئوية. ومن الطبيعي أنه كلما انخفضت الحرارة وزاد الزمن كلما كان البيتومين أكثر قساوة أو أقل سيولة ولذلك تعطى أرقاما (تبدأ بسبعين وتصل إلى ثلاثة آلاف) للتعريف بدرجة سيولة البيتومين وتكتب كما يلي:

(SC-200) ، (MC -70) ، (RC-300)

وتعني الرموز السابقة للأرقام ما يلي:

RC: سريع الجفاف

MC: متوسط الجفاف

SC: بطيء الجفاف

فالعبارة (RC-300) تعني إسفلتا سريع الجفاف ذا درجة لزوجة تساوي (٣٠٠). وينطبق نفس الشيء على العبارة (SC-200) حيث تعني إسفلتا بطيء الجفاف ودرجة لزوجته (٢٠٠).

وتستعمل البيتومينات السائلة عمومًا في الخلطات الباردة وفي الرش على سطح الطريق وعلى طبقة الأساس المكونة من الحصمة المخلوطة بالماء وفي أعمال إعادة إكساء الطرق القديمة.

٧- ١- ٣ الإسفلت المستحلب

يتألف الإسفلت المستحلب من بيتومين وماء ومواد مثبتة لمنع الانفصال يتم خلطها في خلاطة خاصة، وتكون درجة حرارة البيتومين ما بين ١٠٠ و ١٣٠ درجة مئوية ودرجة حرارة الماء المسخن ما بين ٦٠ و ٧٠ درجة مئوية.

ويفضل استعمال هذا النوع من البيتومين في الأيام الماطرة وفي الطقس البارد وعلى الأرض الرطبة حيث يصعب استعمال الأنواع الأخرى. ويستعمل كوجه لاصق أو ختامي أو في الخلطات أو تأسيس أو سد شقوق. وعندما يرش الإسفلت المائي يبدأ الماء بالتبخر من المستحلب ويبدأ البيتومين بالتصلب.

٧- ١- ٤ القار

يتم الحصول عليه من التقطير الاتلافي للفحم أو الغاز بإحدى الطرق التالية:

- قار فحم الكوك: وهو قار كاربوني يتم الحصول عليه في أثناء تصنيع فحم الكوك من الفحم البيتوميني.
- قار من غاز الاستصباح: وهو قار كاربوني يتم الحصول عليه في أثناء تصنيع غاز الاستصباح من الفحم البيتوميني.
- قار من الغاز المائي: وهو قار يتم الحصول عليه بتعريض أبخرة الزيت لضغط عال في درجات الحرارة العالية في أثناء تصنيع مزيج الغاز المائي المكربن.

وتتوقف خصائص القار على خصائص الفحم أو الزيت الداخل في إنتاجه وعلى درجة الحرارة ووسائل إنتاجه، وقد يكون في حالة نصف صلب أو في حالة سائل كما هو الشأن بالنسبة للإسفلت البترولي.

٧- ١- ٥ اختبارات المواد البيتومينية

تجرى على المواد البيتومينية عدة اختبارات معملية وذلك لتحديد خواصها الهندسية والتأكد من جودتها ومدى صلاحيتها للرصف. وقد تم التطرق لهذه الاختبارات بالتفصيل في الجزء العملي. ومن أهم هذه الاختبارات:

- **تجربة الاختراق أو الغرز**: تجرى هذه التجربة لمعرفة قوام المادة البيتومينية المطلوب استعمالها في الرصف ويستخدم فيها جهاز الغرز وإبرة قياسية. وتعتبر تجربة الغرز من أهم التجارب في مجال الرصف لتحديد درجة صلابة وقوام المواد البيتومينية.
- **تجربة الاشتعال**: تجرى تجربة الاشتعال لمعرفة درجة الحرارة التي تشتعل عندها الغازات المتصاعدة من المواد البيتومينية وهذا يحدث قبل احتراق المادة نفسها.
- **تجربة تحديد نقطة الطراوة**: الغرض من هذه التجربة هو تعيين نقطة الطراوة للإسفلت في مدى يتراوح من ٣٠ إلى ١٧٥ درجة. فكلما ارتفعت درجة الحرارة ينتقل البيتومين تدريجيا من حالة الصلابة ويصبح أكثر طراوة وأقل لزوجة. وكلما كانت نقطة الطراوة أعلى قلت حساسية البيتومين للحرارة ولذلك تفيد هذه التجربة في مقارنة أنواع الإسفلت المختلفة، وهذا يساعد على تصنيف أنواع البيتومين وتعطينا فكرة عن ميل البيتومين للانسياب عند درجات الحرارة المرتفعة عندما يوضع على الطرق.
- **تجربة المرونة**: تعرف درجة المرونة بقياس المسافة التي تستطيل إليها المادة البيتومينية أثاء شدها بقوة معينة وبسرعة معينة بجهاز المرونة، ويفضل ألاّ تقل قيمة المرونة عن ٥٠ للحصول على رصف جيد لأن زيادة المرونة تمنع المادة من التشقق في الأجواء الباردة.
- **تجربة اللزوجة الحركية**: تجرى هذه التجربة لتحديد درجة اللزوجة الحركية للمواد البيتومينية المستعملة مثل زيوت الطرق والجزء المتبقي من تقطير الإسفلت السائل وتكمن أهمية هذه التجربة في أنها تبين مدى سرعة صب المواد البيتومينية المستعملة من الأواني الحاوية لها ومدى سرعة تخللها بين الركام وملؤها للفراغات.
- **تجربة الذوبان**: الغرض من هذه التجربة هو معرفة درجة نقاء المواد البيتومينية.

- **تجربة التطاير**: الغرض من هذه التجربة هو معرفة مقدار الفاقد من الزيوت وخلافه الموجود بالمواد البيتومينية عند تسخينها.
- **تجربة الوزن النوعي**: تجرى هذه التجربة لمعرفة الوزن النوعي للإسفلت عند درجة حرارة معينة والهدف من التجربة هو معرفة أحسن المواد الإسفلتية.

٧- ٢مواصفات الركام المستخدم في الخلطة الإسفلتية

يتواجد الركام بأشكال متعددة منها المكعب والمستطيل والمستدير ومنها ما يكون سطوحه خشنة ومنها ما يكون سطوحه ملساء ناعمة ويعتمد الشكل على طريقة تحضير الركام، ونوعية الحجر، ونوعية الكسارات، وطريقة العمل. ويمكن تقسيم الركام إلى ما يلي:

- **ركام الأحجار**: وهو الركام الناتج من الصخور المكسرة بالكسارات ومعظمها من الحجر الجيري الذي يسهل كسره بالكسارات. ويكون مدبب الرؤوس، خشن السطوح، عالي الامتصاص للماء، وبأشكال مكعبة ومبسطة. ويعتبر من أهم مكونات الرصف حيث يستعمل كأحد مكونات الخلطة الإسفلتية أو كمادة أساس لطبقة السطح.
- **ركام الوديان**: يتواجد هذا النوع من الركام في الوديان ويكون مستديرا وأملس السطح وليس له رؤوس مدببة وقويا نسبيا.

ويتكون الركام المعدني للخلطات الإسفلتية من الركام الخشن والركام الناعم ومادة الحشو إذا طلب ذلك. يكون الركام الخشن من المواد المتبقية على المنخل رقم ٨ (فتحته ٢,٣٦ مم). ويكون الركام الناعم من المواد المارة من المنخل رقم ٨ ويتكون من الرمل الطبيعي أو من الرمل الصناعي ناتج عن طحن الأحجار أو خبث الأفران أو الحصى أو خليط منها. ويكون رمل التغطية من أي مواد معدنية حبيبية نظيفة وتكون النسبة المارة من منخل رقم ٤ (فتحته ٤,٧٥ مم) ١٠٠٪ وحتى نسبة ٢٪ مارة من منخل رقم ٢٠٠ (فتحته ٠,٠٧٥ مم). وأما مادة الحشو إذا ما استخدمت، فيجب أن تكون جافة تماماً وخالية من الكتل أو أي مواد متحجرة ولا يزيد دليل لدونتها عن ٤. ويمكن أن تتكون الحشية المعدنية من تراب صخري أو تراب الخبث أو الجير المطفي أو الإسمنت المائي أو الرماد الخفيف المتطاير.

ويشترط في الركام أن يكون منتظمًا ومكسرًا للحجم المطلوب وصلبًا وقاسيًا ونظيفاً ومطابقًا للمواصفات المطلوبة. وأقوى أنواع الركام هو النوع المكعب ذو الرؤوس المدببة والسطوح الخشنة وهذا النوع يتوفر في ركام الكسارات إلا أنه يعاني من صعوبة التشغيل. أما الركام الأملس فإن تشغيله أسهل

ولكن ترابطه أقل بسبب ضعف الاحتكاك بين الحبيبات. وأما الركام المستطيل والمفلطح فإنه قليل القوة وسيئ في التشغيل ويتطلب مزيدًا من الإسفلت عند استعماله في الخلطة الإسفلتية. ويجب أن يكون خاليًا من المواد الطينية والمواد النباتية الأخرى والشوائب، ويجب إجراء الاختبارات اللازمة على الركام للتأكد من ذلك. ومن أهم هذه الاختبارات ما يلي:

- **اختبار التحليل المنخلي** (Sieve Analysis Test): الغرض من هذا الاختبار هو تحديد التدرج الحبيبي للركام الخشن والناعم باستخدام مناخل ذات فتحات مربعة أو دائرية.
- **اختبار الوزن النوعي والامتصاص للركام** (Absorption & Specific Gravity Test): يتم في هذا الاختبار تحديد الوزن النوعي الكلي والظاهري والامتصاص لمواد الركام الناعمة والخشنة في درجة حرارة ٢٣ درجة مئوية والذي يستخدم في صناعة أنواع الخرسانة.
- **اختبار إيجاد كمية المواد الناعمة**: الغرض من هذا الاختبار هو تحديد المواد الناعمة المارة من منخل رقم (٢٠٠) في الركام.
- **اختبار التآكل أو البري للمواد الخشنة** (Aggregates Abrasion Test): ويعتبر من أهم الاختبارات التي تجرى على الركام الخشن لتحديد مدى قوته وصلادته، حيث يتعرض الركام المستخدم في السطح للتآكل والبري بسبب حركة المركبات، وعليه فيجب أن يكون صلداً ومقاوماً للتآكل مع الزمن.
- **اختبار مقاومة الركام للصدم** (Aggregates Impact Resistance Test): الغرض من هذا الاختبار هو قياس صلابة الركام أو مقاومته للكسر تحت الصدمات المتكررة.
- **اختبار تحديد نسبة تحمل كاليفورنيا** (California Bearing Ration: CBR): يجرى هذا الاختبار للتأكد من مدى تحمل التربة وطبقات الرصف للأحمال الناتجة عن حجم المرور ولتصميم طبقات الرصف باستخدام منحنيات قياسية.

٧- ٣أنواع الخلطات الإسفلتية ومواصفاتها

إن وجود أنواع مختلفة من المواد البيتومينية يعطي مرونة في استعمالها للعمل المناسب حيث يمكن اختيار البيتومين الذي يتناسب مع حجم المرور ونوع الطريق والسطح والطقس ونوع الركام المستخدم. ويجب أن تكون نسب الخليط المستخدم بين الركام والإسفلت محددة حسب المواصفات وذلك على النحو التالي:

- نسبة إجمالي الركام في الخلطة: من ٩٣ إلى ٩٦ ٪
- نسبة المادة الرابطة في الخلطة: من ٤ إلى ٧ ٪

وقبل البدء بعملية الرصف يجب التأكد من مواصفات جميع المواد المكونة للخلطة الإسفلتية. فيجب أولاً طلب البيتومين المناسب وإعداد ما يلزم لنقله وتوزيعه وكذلك جلب الركام المطلوب وتوفير الرمل اللازم وتحليله للتأكد من صلاحيته لأعمال الرصف. وهناك أنواع عديدة من الخلطات الإسفلتية تختلف إما بالمكونات، أو بالتدرج الحبيبي، أو بطريقة الخلط والتحضير، أو بالغرض المطلوب. فمن ناحية الخلط والتحضير هناك عدة تقسيمات للخلطات الإسفلتية أهمها:

١. **الخلطات الإسفلتية الساخنة** (Hot-Mixes Asphalt: HMA): وتعرف كذلك بالخرسانة الإسفلتية (Asphalt Concrete) وهي مادة الرصف الرئيسة المستخدمة اليوم في رصف معظم الطرق و الشوارع ومحطات وقوف المركبات و غيرها من الساحات. وتتكون الخلطة من ركام متدرج تدرجًا منتظمًا (يشبه تدرج الخلطات الخراسانية) وإسفلت صلب ذي درجة غرز مختلفة حيث يسخن الركام والإسفلت إلى درجة حرارة ما بين (١٣٩ – ١٦٣) درجة مئوية ثم يخلطان في خلاطات إسفلتية خاصة، وبعدها تنقل الخلطة ساخنة إلى الموقع وتفرش بالفراشات ثم تدمك كطبقة سطح إما مفردة أو مزدوجة. ويمكن تقسيم الخلطات الإسفلتية الساخنة حسب معادلتها التصميمية وحسب طرق تحضيرها إلى الأقسام التالية:

- **خلطات ذات تدرج كثيف** (Dense-graded Mixes): هي خلطات إسفلتية ساخنة تحتوي على ركام متدرج تدرجًا جيدًا (Well-graded)، وتتميز بالثبات ومقاومتها لانهيار الكلل وللانزلاق وبعدم النفاذية للماء والهواء بسبب طبيعتها غير المسامية ويمكن استخدامها في جميع طبقات الرصف ولجميع حالات المرور. وتنقسم هذه الخلطات من حيث نعومة أو خشونة حبيبات الحصمة إلى قسمين هما: خلطات ذات تدرج ناعم (Fine-graded) وخلطات ذات تدرج خشن (Coarse-graded)، حيث تحتوي خلطات التدرج الناعم على كمية من المواد الناعمة والرمل أكثر من تلك التي تحتوي عليها خلطات التدرج الخشن كما يبين ذلك الجدول (٧- ١). الشكل (٧- ١) يبين عينات من خلطة إسفلتية ذات تدرج كثيف.

شكل (٧- ١): عينات من خلطة إسفلتية ساخنة ذات تدرج كثيف.

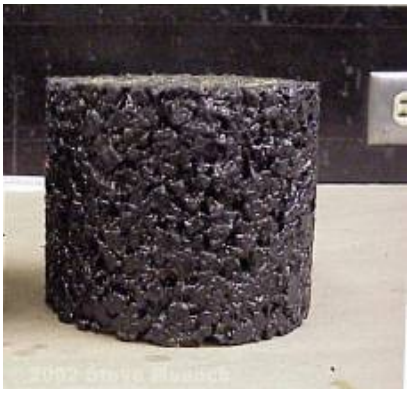
جدول (٧- ١): مواصفات الخلطات ذات التدرج الناعم وذات التدرج الكثيف.

خلطة ذات تدرج ناعم (Fine-graded Mix)	خلطة ذات تدرج خشن (Coarse-graded Mix)	المقاس الاعتباري الأكبر للركام (Mixture Nominal Maximum Aggregate Size)
> 35 % passing the 4.75 mm (No. 4 Sieve)	< 35 % passing the 4.75 mm (No. 4 Sieve)	37.5 mm (1.5 inches)
> 40 % passing the 4.75 mm (No. 4 Sieve)	< 40 % passing the 4.75 mm (No. 4 Sieve)	25.0 mm (1.0 inch)
> 35 % passing the 2.36 mm (No. 8 Sieve)	< 35 % passing the 2.36 mm (No. 8 Sieve)	19.0 mm (0.75 inches)
> 40 % passing the 2.36 mm (No. 8 Sieve)	< 40 % passing the 2.36 mm (No. 8 Sieve)	12.5 mm (0.5 inches)
> 45 % passing the 2.36 mm (No. 8 Sieve)	< 45 % passing the 2.36 mm (No. 8 Sieve)	9.5 mm (0.375 inches)

- **خلطات إسفلتية ذات تدرج مفتوح** (Open-graded Mixes): وتختلف عن ذات التدرج الكثيف بأنها لا تحتوي إلا على كميات بسيطة من المواد المعدنية الناعمة وغالبًا ما تشترط المواصفات أن يكون الركام المستخدم فيها أمتن منه في الخلطات ذات التدرج الكثيف لخلو الخلطة من المواد الناعمة التي تعمل على حماية الركام الخشن. وتتصف هذه الخلطات بأنها تعطي طبقة نافذة للمياه وذلك بسبب طبيعتها المسامية وتستخدم عندما يراد التخلص من كمية الرطوبة الزائدة في طبقة الأساس أو في طبقة التأسيس وتستخدم كذلك للمعالجة السطحية ولصيانة الشروخ التي تحدث في طبقات الرصف القديم. الشكل (٧- ٢) يبين عينات من خلطة إسفلتية ذات تدرج مفتوح.

شكل (٧- ٢): عينات من خلطة إسفلتية ساخنة ذات تدرج مفتوح.

- **خلطات حصائر الحجر الإسفلتية** (Stone Matrix Asphalt Mixes: SMA): وتعرف كذلك بخلطات حجر الماستيك الإسفلتية (Stone Mastic Asphalt) وتستخدم خاصة في الطبقات السطحية للطرق ذات أحجام المرور العالية. وهي خلطات إسفلتية ساخنة تحتوي على تدرج فجوي للركام (Gap-graded) وعلى نسب عالية من الإسفلت (في حدود ٦٪) ويشترط في الركام أن يكون صلبًا ومتينًا وذا جودة عالية. وتتصف هذه الخلطة بمقاومة عالية للتخدد وبديمومة أطول وذلك نتيجة تماسك وترابط حبيبات الركام، إلا أن تكاليفها مرتفعةً نسبيًا إذا ما قورنت بالخلطات ذات التدرج الكثيف (زيادة ٢٠- ٢٥٪) وذلك بسبب ارتفاع تكاليف الركام الذي تتطلبه. الشكل (٧- ٣) يبين عينة من خلطة حصائر الحجر الإسفلتية.



شكل (٧- ٣): يبين عينة من خلطة حصائر الحجر الإسفلتية.

كما أن هناك تصنيفات أخرى تعرف بها الخلطات الإسفلتية الساخنة حسب المواصفات القياسية الأمريكية (WSDOT Standard Hveem Mixes) كما هو مبين في الجدول (٧- ٢).

جدول (٧- ٢): أقسام الخلطات الإسفلتية الساخنة (WSDOT Standard Hveem Mixes).

أقسام الخلطات الإسفلتية الساخنة	مواصفات الخلطة
Class A. Dense-graded HMA	خلطة إسفلتية ساخنة ذات تدرج كثيف حيث ٩٠٪ من الركام الخشن للخلطة يحتوي على سطح واحد مكسر على الأقل، وتستخدم خاصة في إنشاء طبقات السطح للطرق التي يكون حجم المرور فيها مرتفعاً جدًا.
Class B. Dense-graded HMA	خلطة إسفلتية ساخنة ذات تدرج كثيف حيث ٧٥٪ من الركام الخشن للخلطة يحتوي على سطح مكسر على الأقل، وتستخدم كطبقة سطح وكطبقة تأسيسية للطرق.
Class D. Open-graded HMA	خلطة إسفلتية ساخنة ذات تدرج مفتوح تستخدم خاصة للمعالجة السطحية ولصيانة الرصف القديم.
Class E. Dense-graded HMA	خلطة إسفلتية ساخنة ذات تدرج كثيف تستخدم خاصة في طبقة الأساس.
Class F. Dense-graded HMA	مشابهة لخلطة (Class B) إلا أنها تحتوي على نسبة أعلى من الركام الخشن، ويتم استخدامها في حالة ندرة مصادر الركام التي تحقق شروط تدرج خلطة (Class B).
Class G. Dense-graded HMA	خلطة إسفلتية ساخنة ذات تدرج كثيف ويكون المقاس الاعتباري الأكبر للركام في حدود ٩,٥ مم، وتستخدم خاصة للمعالجة السطحية ولأعمال الصيانة للرصف.

٢. **الخلطات الإسفلتية الناعمة** (Hot Rolled Asphalt): وتتكون من حجم واحد من الركام الخشن ونسبة كبيرة من الركام الناعم (الرمل) تصل إلى ٥٠٪ بالوزن من الخلطة ونسبة غنية من المادة الإسفلتية (٨ - ١٠٪). ونظرا لعدم وجود تدرج جيد في أحجام الركام المستعملة فإن كثافة هذه الخلطة تكون منخفضة نسبيا وكذلك ثباتها.

٣. **الخلطات الإسفلتية المسامية** (Porous Asphalt): وتتصف بارتفاع مساميتها ونفاذيتها للماء، حيث تتكون الخلطة من نسبة عالية من الركام الخشن ونسبة قليلة من المواد الناعمة تخلط مع إسفلت بنسبة (٥ - ٦٪) وهذا يعطي للخلطة نسبة فراغات مرتفعة تسمح بالنفاذية للمياه. ويفضل استخدام هذه الخلطات خاصة في المناطق الماطرة وفي طبقات الرصف الخاصة بالمواقف.

٧- ٤ مراحل تصنيع الخلطة الإسفلتية في الخلاطات

لتحضير الخلطات الإسفلتية تستخدم محطات خلط مركزية ساخنة متقنة الصنع تكون قريبة من المدن الكبرى حيث الاحتياج المستمر لمواد الرصف، ويبين الشكل (٧- ٤) رسماً تفصيلياً لمحطات الخلط المركزية والشكل (٧- ٥) يوضح نموذجاً لأحد مصانع الخلطات الإسفلتية. وتوجد كذلك محطات خلط متنقلة يمكن نقلها إلى موقع المشروع كما هو مبين في الشكل (٧- ٦). وتنقل المواد البيتومينية من معامل التكرير إلى محطات الخلط الساخنة في عربات نقل أو في حاويات حيث يتم تخزينها بكميات كافية في خزانات خاصة. ويتم تزويد المحطة بكميات كافية من الركام الخشن والركام الناعم ويخزن كل نوع على حدة. ويمكن تلخيص عملية تصنيع الخلطة الإسفلتية في الخطوات التالية:

١. يتم سحب كل نوع من أنواع الركام بواسطة سيور صاعدة من أماكن التخزين الباردة إلى داخل المجفف.
٢. يسقط الركام بالتكرار في غازات ساخنة للتخلص من أي رطوبة.
٣. يسخن الركام إلى درجة حرارة ما بين (١٣٩- ١٦٣) درجة مئوية وهي الدرجة المطلوبة للخلط.
٤. يرفع الركام الساخن بواسطة المصعد لأعلى وحدة الخلط ويتم فصله إلى أحجام مختلفة.
٥. توضع الأحجام المختلفة بعد فصلها في صناديق ليتم استخدامها في الخلطة.
٦. يهيئ الرمل ويسخن ويوضع في الأوعية الخاصة به.

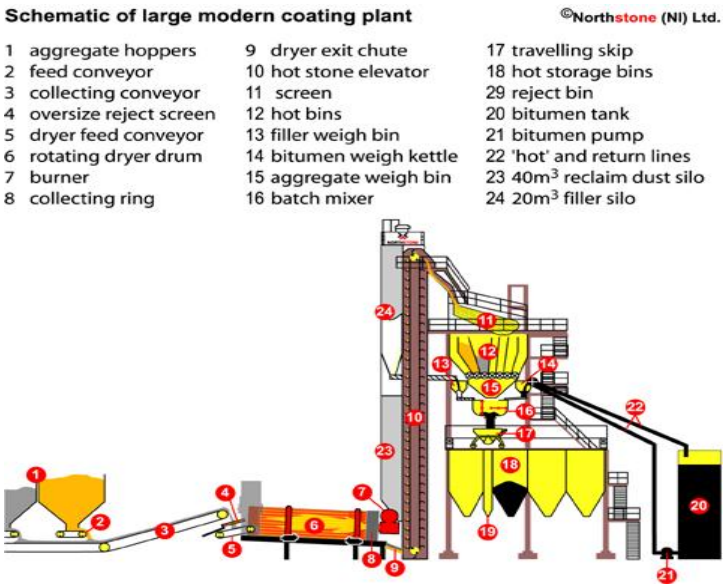
٧. يتم أخذ الكمية اللازمة من كل وعاء حسب المعادلة التصميمية للخلطة.

٨. يتم خلط الركام والرمل خلطًا جيدًا في الخلاطة.

٩. يسخن الإسفلت إلى درجه حرارة ما بين (١٣٩- ١٦٣) درجة مئوية ثم يضاف إلى الحصمة الموجودة في الخلاطة ويتم الخلط جيدًا لضمان خلطة متجانسة (يجب ألا تقل مدة الخلط عن ٣٠ ثانية).

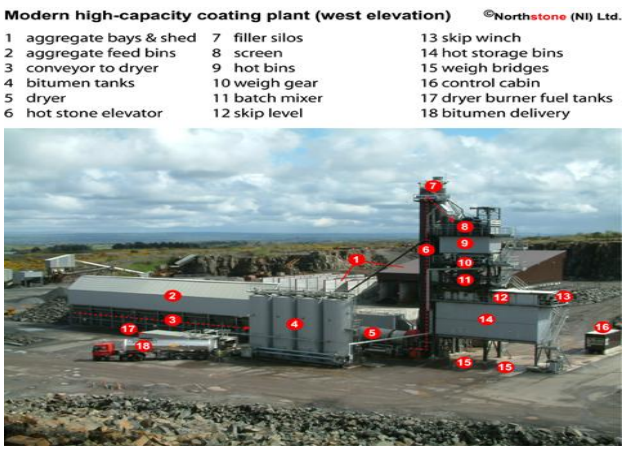
١٠. تحمل الخلطة في ناقلات لكي تفرش في أماكنها بالفرادات ويراعى أن يتم فرشها فور وصولها.

١١. تجب حماية الخلطة من الغبار ومن البرودة أثناء نقلها.



شكل (٧- ٤): رسم تفصيلي لمحطة مركزية ساخنة لتصنيع الخلطات الإسفلتية.

شكل (٧- ٦): خلاطة إسفلت متنقلة.



شكل (٧- ٥): مصنع خلطات إسفلتية.

التصميم الإنشائي للطرق

٨- ١- مقدمة

بعد تحضير سطح الطريق الترابي وتحسين خواص التربة الطبيعية يتم وضع طبقة أو مجموعة طبقات فوق هذا السطح تعرف بالرصف. ويكمن الغرض من وضع طبقات الرصف في تحمل كل الإجهادات الناتجة من حركة المرور ونقلها إلى طبقة التربة التي تعتبر الأساس الحقيقي للطريق. وتصميم طبقات الرصف بحيث تكون قادرة على تحمل ثقل العربات وتوصيل الثقل إلى السطح الترابي بشكل لا يسبب أي هبوط أو انهيار للطريق.

٨- ٢- أنواع الرصف

ينقسم الرصف إلى قسمين رئيسن هما:

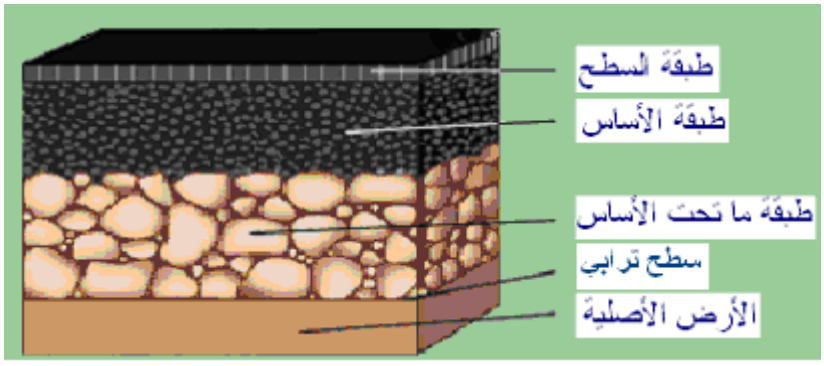
١. الرصف المرن (Flexible Pavement)

٢. الرصف الصلب(Rigid Pavement)

ولكل نوع خواصه ومميزاته وسلبياته ومجال تطبيقه.

٨- ٢- ١ الرصف المرن

يعد هذا النوع من الرصف الأكثر استخداماً ويطلق عليه أيضاً الرصف الإسفلتي وهو الرصف بالإسفلت والمكادم، حيث يتكون جسم الطريق من عدة طبقات توضع على سطح الأرض الطبيعية الواحدة فوق الأخرى كما هو مبين في الشكل (٨- ١) وهي طبقة تحت الأساس وطبقة الأساس والطبقة السطح:



شكل (٨- ١): طبقات الرصف المرن.

١. **طبقة السطح**: يشكل السطح الجزء الذي يلامس عجلات المركبات ويتألف من طبقة أو طبقتين إسفلتية تعطي قوة للرصف وتقاوم البري والتفتت والاهتراء الناتج عن حركة المرور والعوامل الجوية ويمنع من دخول الماء إلى الطبقات السفلية.

٢. **طبقة الأساس**: وهي الطبقة التي يرتكز عليها سطح الطريق وتتولى بشكل رئيس نقل وتوزيع الأحمال الناتجة عن المرور إلى الطبقات السفلى. كما أنها تساعد على حماية سطح الطريق من الخراب الناتج عن انتفاخ وهبوط التربة الأصلية وعن صعود المياه الجوفية إلى أعلى. وتكون طبقة الأساس إما من المكادام أو من مواد حصوية مثبتة بالإسمنت أو بالجير أو معالجة بالبيتومين وقد يكون الأساس من خلطة إسفلتية.

٣. **طبقة ما تحت الأساس**: توضع هذه الطبقة فوق السطح الترابي بعد تهيئته وتساعد على تقويته وحمايته من الخراب. كما توفر في تكاليف الرصف وتعمل على توزيع الأحمال وعلى تصريف المياه. وتكون من مواد حصوية أقل جودة من مواد الأساس.

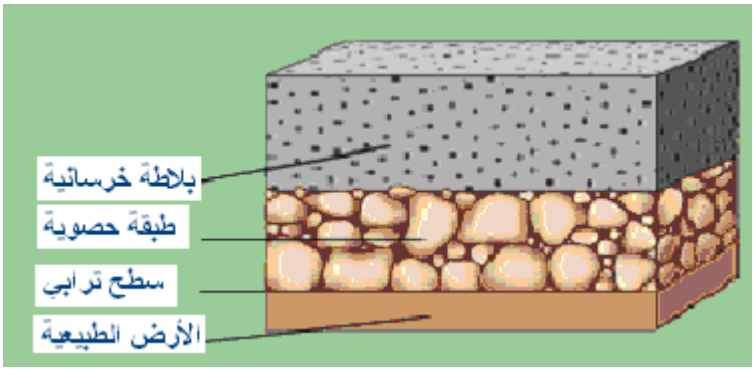
٤. **السطح الترابي**: يأتي تحت طبقة الأساس المساعد ويجب أن تنشأ مواده بشكل جيد وأن يدمك جيداً وأن يكون مستوياً حسب المناسيب.

٥. التربة الأصلية: وهي طبقة الأرض الطبيعية التي يتم وضع طبقات الرصف عليها بعد تمهيدها وتسويتها. وتعتبر التربة الأصلية الأساس الحقيقي لجسم الطريق حيث إنها القاعدة الأساسية التي ترتكز عليها جميع طبقات الرصف.

ويتميز الرصف المرن بمقاومة قليلة نسبيا ضد الانحناء لهبوط أو لتغيير في شكل التربة الأصلية أو في طبقة الأساس التي يصاحبها تغيرا مماثلا في طبقة الرصف. وتتلخص عملية إنشاء الرصف المرن في تحضير الأرضية ثم وضع الطبقات وفرشها ودمكها ورش الإسفلت التأسيسي ووضع الخلطة الإسفلتية ودحلها.

٨- ٢- ٢ الرصف الصلب

ويطلق عليه أيضاً الرصف الخرساني حيث يتكون من بلاطات خرسانية يتراوح سمكها ما بين ١٥ و ٣٠ سم تصب مباشرة على سطح الأرض الطبيعية أو فوق طبقة أساس حصوية كما هو موضح في الشكل (٨- ٢).



شكل(٨- ٢): طبقات الرصف الصلب.

وقد تكون البلاطات الخرسانية مسلحة وقد تكون بدون تسليح وتصب على شكل قطع يتراوح طولها ما بين ٥ و ٣٠ متر في الخرسانة العادية وقد يصل إلى ٣٠٠ متر في الخرسانة المسلحة. ويمتاز الرصف الصلب بمقاومته الكبيرة للانحناء حيث لا يسمح بهبوط السطح الترابي ولكن ممكن أن يتعرض للتشققات أو الكسر عندما تتعرض التربة الأصلية لتغيرات معتبرة في شكلها. ولإنشاء الرصف الصلب يجب تحضير الأرضية ودمكها جيدا وإزالة المناطق الضيقة ووضع الطوبار الجانبي والفواصل. ثم تصب الخرسانة لنصف السماكة ويوضع حديد التسليح على شكل شبك وتصب باقي الخرسانة ويسوى السطح لتخشينه ومعالجته. إن الرصف الصلب هو المناسب للتربة الضعيفة لأنه أقدر على تحمل الإجهادات العالية، في حين يعد الرصف المرن مناسبا للتربة القوية نوعا ما. كما أن عمر الرصف الصلب أكبر من عمر الرصف المرن ولذلك فهو يستعمل بكثرة عند الأحمال الثقيلة مثل المطارات والطرق الهامة ومقاطع الأودية.

٨- ٣- طرق تصميم الرصف المرن

يشمل تصميم الرصف المرن تصميم الخلطات الإسفلتية وكذلك تصميم القطاع وسماكة الطبقات التي توضع فوق السطح الترابي بحيث تتحمل ثقل المركبات التي تمر عليها دون أن تنهار أو تتأثر مع الزمن. ويعتبر تصميم سماكة الطبقات من أهم الأمور المؤثرة على الأداء الوظيفي للطرق كما أن ذلك يعتبر ذا أهمية كبيرة من حيث رفع كفاءة استثمار الموارد المتاحة. فإذا تم تحديد طبقات الرصف بسماكات أعلى من الحدود المطلوبة فإن ذلك يؤدي إلى زيادات معتبرة في تكاليف الإنشاء وهذا هدر للإمكانيات والميزانيات المخصصة. وقد يحدث أن يتم تحديد طبقات الرصف بسماكات أدنى من الحدود التصميمية وهذا يؤدي إلى ظهور عيوب مختلفة خلال فترة وجيزة من العمر الخدمي للطريق مما يؤثر مستقبلاً على الميزانيات المخصصة لأعمال الصيانة. وعليه فيجب تصميم سماكة الرصف بأساليب

علمية ومدروسة ينتج عنها طرق بمواصفات عالية الجودة من حيث الأداء الوظيفي والسلامة والراحة وبتكاليف اقتصادية.

ويجب كذلك الاهتمام جيدًا بتصميم الخلطة الإسفلتية وذلك بتحديد نسبة الركام والمادة الرابطة بالخلطة بدقة وذلك للحصول على رصف جيد يفي بجميع المتطلبات. ومن أهم الخصائص التي يجب أن تتوفر في الخلطة والتي يجب أن تؤخذ في الاعتبار أثناء التصميم هي:

١. الثبات: ويعبر عن قدرة الخلطة على مقاومة الأحمال دون أن يحدث تشرخ أو تشوه أو هبوط.
٢. المتانة: وتشير إلى مقاومة الخلطة لتأثير العوامل الجوية وقوة الاحتكاك الناتج من المرور.
٣. المرونة: وهي قدرة الخلطة الإسفلتية على الانحناءات المتكررة دون أن تحدث تشرخات.
٤. مقاومة الانزلاق: وهي قدرة سطح الرصف على مقاومة انزلاق إطارات السيارات.

٨- ٤- النظريات التي تعتمد عليها طرق التصميم المختلفة

إن مقدرة الرصف المرن على تحمل الأحمال تأتي من مقدرة الطبقات على نقل وتوزيع هذه الأحمال من الطبقات العليا إلى الطبقات السفلى حتى تصل إلى التربة الأصلية دون أن يحدث أي تغيير أو هبوط في هذه الطبقات. ومن هنا فإن سماكة ونوع الطبقات ومقدرة السطح الترابي على تحمل الإجهادات كلها عوامل مؤثرة على تصميم الرصف المرن.

وهناك عدة طرق علمية تستعمل لتصميم سماكة الرصف المرن أهمها:

١. طريقة الاتحاد الأمريكي لطرق الولايات والنقل "آشتو" "AASHTO"
٢. طريقة معهد الإسفلت الأمريكي "Asphalt Institute"
٣. طريقة ولاية كاليفورنيا الأمريكية "California Method"

وهناك أيضا عدة طرق تستعمل لتصميم الخلطات الإسفلتية أهمها:

٤. طريقة مارشال "Marshal Method"
٥. طريقة السوبربيف "Superpave Method"
٦. طريقة فيم "Hveem Method"

٨- ٥- تصميم سماكة الرصف بطريقة الاتحاد الأمريكي لطرق الولايات والنقل "آشتو"

لتصميم الرصف المرن بطريقة "آشتو" يتم في البداية تحديد الرقم الإنشائي وبعد ذلك تحسب سماكة الطبقات كالتالي:

أ) **تحديد الرقم الإنشائي** (SN): لتحديد الرقم الإنشائي نتبع الخطوات التالية:

١. إيجاد حجم المرور اليومي المتوسط عند فتح الطريق.
٢. إيجاد حجم المرور اليومي المتوسط بعد ٢٠ عاما من فتح الطريق.
٣. المعدل المستعمل للتصميم = (المتوسط الحالي + المتوسط بعد ٢٠ سنة) ÷ ٢.
٤. تحديد معامل الاتجاه وهو النسبة بين حجم المرور اليومي المتوسط في الاتجاه الواحد الى حجم المرور اليومي المتوسط في اتجاهي الطريق وهو ٠,٥، ٠,٦، أو ٠,٧.
٥. تحويل عدد المركبات التي ستستعمل الطريق الى ما يعادلها من أوزان محورية قياسية مقدارها ٨٢٠٠ كجم باستخدام الجداول (٨- ١) و (٨- ٢). يتم ضرب عدد السيارات من كل نوع في ما يساويها من محور قياسي ومن ثم يجمع حاصل الضرب واستعماله في التصميم.

جدول (٨- ١) الأوزان المحورية.

نوع المركبة	الوزن المحوري القياسي
سيارة ركوب	٠,٠٠٠٤
شاحنة بمحورين	٠,١٧
شاحنة بثلاثة محاور قطعة واحدة	٠,٥١
شاحنة بثلاثة محاور- قطعتان	٠,٤٦
شاحنة بأربعة محاور	٠,٦٤

جدول (٨- ٢) الأوزان المحورية.

وزن المحور(كغم)	الوزن المحوري القياسي
٩١٠	٠,٠٠٠٢
١٨١٠	٠,٠٠٢٥
٢٧٢٠	٠,٠١
٥٤٤٠	٠,٠٢
٨١٦٠	١
٩٠٧٠	١,٦
١٤٥٢٠	١٣,٣
٢١٧٩٠	٨٧

٦. يضرب مجموع الأوزان المحورية في معامل المسرب وهي: ١ لطريق من مسربين و ٠,٩ لطريق من أربعة مسارب و ٠,٨ لطريق من ستة مسارب.

٧. تحديد العامل المناخي كالتالي:

- من (٤ – ٥) للمناطق الرطبة المعرضة للأمطار الكثيرة.
- من (١ – ٢,٥) للمناطق المتوسطة.
- من (٠,٣ – ١,٥) للمناطق الجافة.
- من (٠,٢ – ١) للمناطق التي يحصل تجمد بسيط فيها.

٨. تحديد معامل قابلية الخدمة للطريق ويتراوح ما بين (٢ – ٥). يمكن استعمال القيمة ٢,٥ للسير الثقيل و القيمة ٢ للسير الخفيف.

٩. تحديد الرقم الإنشائي (SN) باستخدام المنحنيات المبينة في الشكل (٨- ٣) كالتالي:

- نبدأ من اليسار برسم خط يصل بين نسبة التحميل لكاليفورنيا (CBR) لسطح الطريق والأوزان القياسية التي ستستعمل الطريق ونمد الخط حتى يقطع محور الرقم الإنشائي في العمود الثالث (SN).
- ثم من هذه النقطة نرسم خطاً جديداً يمر من محور العامل المناخي ونمده ليقطع المحور الخامس في نقطة تحدد المحور الإنشائي النهائي.

ب) اختيار سمك الطبقات: لحساب سمك الطبقات نتبع الخطوات التالية:

١. الرقم الإنشائي النهائي (SN) الذي تم تحديده يساوي مجموع حاصل ضرب سماكة الطبقات بمعامل يتعلق بقوة ونوع الطبقة:

$$SN = A_1D_1 + A_2D_2 + A_3D_3$$

حيث:

D_1: سمك طبقة السطح.

D_2: سمك طبقة الأساس.

D_3: سمك طبقة ما تحت الأساس.

A_1: معامل طبقة السطح.

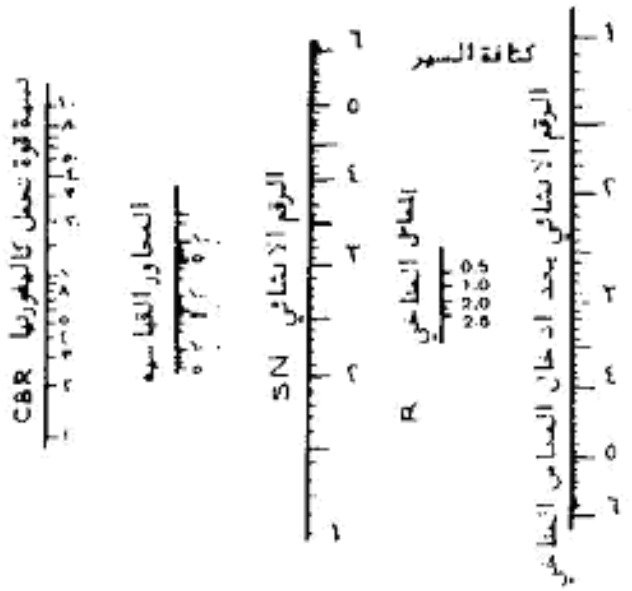
A_2: معامل طبقة الأساس.

A_3: معامل طبقة ما تحت الأساس.

تؤخذ قيم هذه المعاملات من الجدول (٨- ٣).

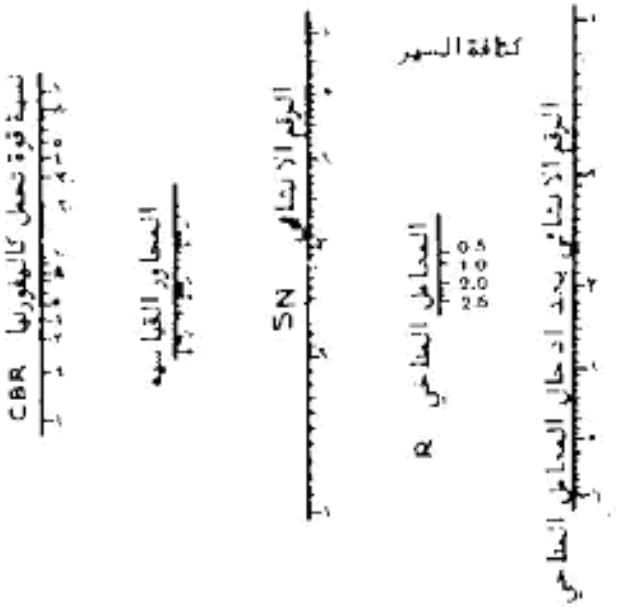
جدول (٨- ٣) معامل قوة الطبقات المستعملة في الرصف.

نوع الطبقة	أدنى سمك	أقصى سمك	معامل قوة الطبقة	
السطح	سم	سم	A_1	A_2 A_3
خلطة الريق	٤	٧,٥	٠,٠٧	
خلطة قوية	٢,٥	١٠	٠,١٧	
خلطة رملية	٢,٥	٧,٥	٠,١٦	
الأساس				
رمل وحصمة	١٠			٠,٠٤
حصمة سيل	١٠			٠,٠٦
حصمة كسارة	١٠			٠,٠٦
حصمة مثبته بالإسمنت	١٠		حسب كمية الإسمنت	٠,٠٨ – ٠,٠٩
حصمة مثبته بالإسفلت	١٠			٠,١٠ – ٠,١٢
حصمة مثبته بالجير	١٠			٠,١٢
ما تحت الأساس				A_3
رمل وحصمة	١٠			٠,٠٣
رمل وتراب	١٠			٠,٠٢ – ٠,٠٤



الطرق كثيفة السير

P = 2.5



الطرق ضعيفة السير

P = 2

شكل (٨- ٣): منحنيات تحديد الرقم الإنشائي.

مثال:

صمم رصف لطريق مؤلفة من مسربين حيث إن:

١. نسبة قوة تحمل كاليفورنيا(CBR) = ١٠٪.
٢. حجم المرور اليومي المتوسط الحالي = ٩٠٠٠ سيارة من مختلف الأنواع.
٣. حجم المرور اليومي المتوسط بعد ٢٠ سنة = ١٩٠٠٠.

الحل:

ا) <u>تحديد الرقم الإنشائي</u>:

١. المعدل المستعمل للتصميم = (٩٠٠٠ + ١٩٠٠٠) / ٢ = ١٤٠٠٠ سيارة.
٢. معامل الاتجاه = ٠,٦.
٣. حجم السير في المسرب الكثيف ٠,٦ × ١٤٠٠٠ = ٨٤٠٠ سيارة من مختلف الأصناف.
٤. يتم تحويل كل صنف من هذه الأصناف المختلفة الى ما يعادله من محور قياسي حسب الجدول.
٥. من حساب السيارات ومعادلتها بالأوزان المحورية لها، لنفرض أن مجموع الأوزان المحورية كان حوالي ١٠٠٠ وزن محوري قياسي.
٦. تضرب في معامل المسرب وهو واحد لأن الطريق مؤلفة من مسربين فيبقى حجم السير ١٠٠٠ وزن محوري قياسي.
٧. نختار المعامل المناخي = ١,٥
٨. نختار معامل حالة الطريق= ٢ للسير الخفيف و٢,٥ للسير الثقيل.
٩. من نسبة تحمل كاليفورنيا لسطح الطريق الترابي (CBR) = ١٠٪ نرسم خطاً يمتد إلى عدد المحاور ١٠٠٠ محور ثم نمد الخط ليقطع خط الرقم الإنشائي(SN) في نقطة مقدارها ٣,٧ عندما تكون الطريق كثيفة السير (٢,٥ = P). أما إذا كانت الطريق خفيفة السير (٢ = P) فإن الرقم الإنشائي (SN) = ٣,٤
١٠. نأخذ بعد ذلك العوامل المناخية بعين الاعتبار فإذا كانت التربة من النوع الذي يتشبع بمياه الأمطار فإن معامل العوامل الجوية R يتراوح ما بين (٤ - ٥). أما في المناطق الجافة فالرقم يتراوح ما بين (٠,٣ - ١,٥). ولإدخال هذا المعامل في التصميم فإننا نمد خطًا من الرقم الإنشائي (SN)

الذي حصلنا عليه أعلاه (إما ٣,٧ أو ٣,٤) إلى معامل المناخ ١,٥ ثم إلى الرقم الإنشائي الجديد فنحصل على: SN = ٤ للسير الثقيل و ٣,٦ للسير الخفيف.

ب) اختيار سمك الطبقات:

بعد إيجاد الرقم الإنشائي فإنه لا بد من اختيار مجموعة من الطبقات بحيث يكون المجموع الكلي لحاصل ضرب كل طبقة مع معامل قوتها يساوي هذا الرقم الإنشائي. إن المعادلة الأساسية.

$$SN = A_1D_1 + A_2D_2 + A_3D_3$$

نفترض أن هنالك ثلاث طبقات: طبقة السطح و طبقة الأساس و طبقة ما تحت الأساس. هناك طريقتان لحساب سمك الطبقات الثلاث وهي:

الطريقة الأولى:

يلجأ بعض المصممين إلى الحصول على المجموع المطلوب باختيار نوع وسماكة الطبقات التي تستقر آراؤهم عليها، ثم يجدون المجموع فإن كان هذا المجموع غير مساوٍ للرقم الإنشائي المطلوب فإنه يغير من سماكة الطبقات أو أنواعها حتى يصل الى الرقم كما يلي:

لنفرض أن الرقم الإنشائي هو ٤ ولنفرض أننا سنضع خلطة إسفلتية ساخنة بسمك ٥ سم ومعاملها ٠,١٧ وطبقة أساس بسمك ٢٠ سم من الحصمة المكسرة معاملها ٠,٠٦ وطبقة ما تحت الأساس من حصمة الوديان بسمك ١٠ سم معاملها ٠,٠٤. ومن تطبيق المعادلة فإننا نتحصل على المجموع التالي للرقم الإنشائي:

$$SN = (٥ \times ٠,١٧) + (٢٠ \times ٠,٠٦) + (١٠ \times ٠,٠٤) = ٢,٤٥$$

إن هذا المجموع ٢,٤٥ أقل من الرقم الإنشائي المطلوب (SN = ٤)، وعليه تجب زيادة في سماكة طبقات الأساس وما تحت الأساس أو تغير مادته. فمثلا يمكن زيادة طبقة السطح إلى ٧ سم والأساس إلى ٤٠ سم وما تحت الأساس إلى ٢٠ سم فتصبح الأرقام كالتالي:

$$SN = (٧ \times ٠,١٧) + (٤٠ \times ٠,٠٦) + (٢٠ \times ٠,٠٤) = ٤,٣٩$$

وهذا الرقم أكثر قليلا من الرقم الإنشائي المطلوب. وكحل بديل يمكن أن نغير في نوع طبقة الأساس لتصبح حصمة مثبته بالإسفلت معاملها ٠,١٠ وبهذا نحصل على ما يلي:

$$SN = (٧ \times ٠,١٧) + (٢٥ \times ٠,١٠) + (١٠ \times ٠,٠٤) = ٤,٠٩$$

وبذلك تكون سماكة الطبقات الثلاث كالتالي:

D_1: سمك طبقة السطح = ٧ سم

D_2: سمك طبقة الأساس = ٢٠ سم

D_3: سمك طبقة ما تحت الأساس = ١٠ سم

الطريقة الثانية:

في الطريقة الأولى افترضنا أن كل طبقة مناسبة للطبقة التي تحتها أو فوقها وحتى يكون التصميم دقيقاً فإنه لا بد من معالجة كل طبقة على حدة كما يلي:

١. نفرض أن الرقم الإنشائي (SN) = ٤، وأن نسبة تحمل كاليفورنيا لطبقة الأساس (CBR) = ٨٥٪، ونسبة تحمل كاليفورنيا لطبقة ما تحت الأساس ٣٠٪، ونسبة قوة تحمل كاليفورنيا لطبقة السطح الترابي ١٠٪ ويتم إيجاد سماكة كل طبقة من طبقات السطح والأساس وما تحت الأساس .

٢. نبدأ التصميم من أعلى إلى الأسفل والمطلوب ايجاد سماكة ونوع طبقة السطح الذي يرتكز على الأساس الذي نسبة تحمل كاليفورنيا فيه ٨٥٪ مع بقاء الأوزان المحورية كما هي. ومن الشكل (٨- ٣) نحصل على رقم إنشائي مقداره ١,٧.

٣. ومن تطبيق المعادلة واختيار سطح خلطة إسفلتية بسماكة ١٠ سم نحصل على الرقم المطلوب كما يلي:

$$SN = A_1D_1 + -- + --$$
$$1.7 = (0.17 \times 10) = SN$$

٤. ننتقل إلى الخطوة الثانية وهي إيجاد رقم إنشائي لطبقة السطح والأساس المرتكزان على طبقة ما تحت الأساس الذي نسبة تحمل كاليفورنيا فيه(CBR) ٣٠٪ مع بقاء الأوزان المحورية كما هي أي ١٠٠٠ وزن محوري. ومن الشكل (٨- ٣) نحصل على الرقم الإنشائي المطلوب مقداره ٢,٢.

٥. من تطبيق المعادلة واختيار أساس من حصمة مخلوطة سمكها ٢٠ سم ومعاملها ٠,٠٦ نحصل على رقم إنشائي كما يلي:

$$SN = A_1D_1 + A_2D_2 + \text{--}$$
$$2.9 = (0.17 \times 10) + (0.06 \times 20) = SN$$

ونحصل على رقم إنشائي مقداره ٢,٩ وهو أكثر من الرقم المطلوب ٢,٢.

٦. ننتقل إلى المرحلة الأخيرة وهي إيجاد الرقم الإنشائي ٤ للرصفة المؤلفة من ٣ طبقات ترتكز على السطح الترابي الذي نسبة تحمل كاليفورنيا فيه ١٠٪. ومن اختيار طبقة الأساس من حصمة معاملها ٠,٠٦ وسمكها ٢٠ سم نحصل على ما يلي:

$$SN = A_1D_1 + A_2D_2 + A_3D_3$$
$$4.1 = (0.17 \times 10) + (0.06 \times 20) + (0.06 \times 20) = SN$$

وهذا الرقم الإنشائي مناسب وبهذا تكون سماكة الطبقات مناسبة كذلك وهي:

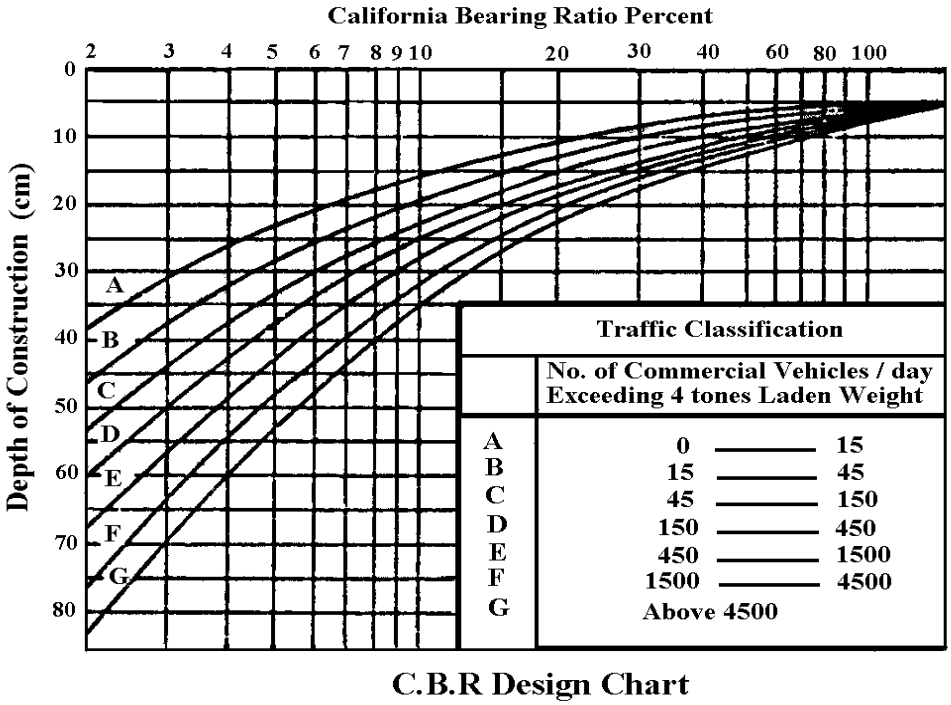
D_1: سمك طبقة السطح = ١٠ سم

D_2: سمك طبقة الأساس = ٢٠ سم

D_3: سمك طبقة ما تحت الأساس = ٢٠ سم

٨- ٦- طريقة التحميل النسبي لكاليفورنيا (CBR)

تعتمد هذه الطريقة أساساً على قيم (CBR) لحساب سمك طبقات الرصف المختلفة. والشكل (٨-٤) يوضح العلاقة بين قيم (CBR) والسمك الكلي للرصف.



C.B.R Design Chart

شكل (٨- ٤): العلاقة بين قيم (CBR) وسمك الرصف.

ويمكن استخدام المعادلة التجريبية التالية لتحديد سمك الرصف للأحمال المختلفة:

$$t = \sqrt{P}\left[\frac{1.75}{CBR} - \frac{1}{\pi p}\right]^{1/2}$$

حيث:

t : سمك طبقة الرصف (متر)

P: الحمل على العجلة (كجم)

p : ضغط العجلة (كجم/ سم^2)،

A: مساحة التماس (سم^2).

مثال:

أحسب السمك الكلي لرصف مرن باستخدام منحنيات (CBR) التصميمية وباستخدام المعادلة المقترحة، علمًا أن:

- حجم المرور اليومي = ٤٠٠ مركبة نقل / يوم
- CBR للتربة = ٥ ٪
- P = ٤٠٨٢ كجم
- p = ٧ كجم/ سم^{٢}

الحل:

أ) باستخدام المنحنى:

عند CBR = ٥٪ وحجم المرور اليومي = ٤٠٠ مركبة نقل / يوم فإن سمك الرصف = ٣٨ سم

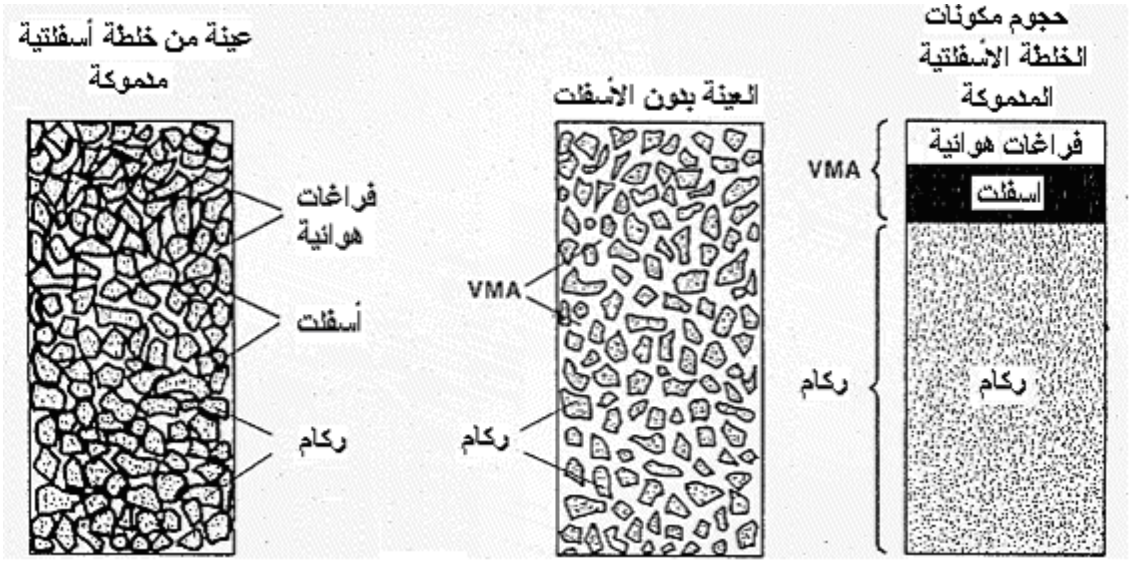
ب) باستخدام المعادلة:

$$t = \sqrt{P}\left[\frac{1.75}{CBR} - \frac{1}{\pi p}\right]^{1/2}$$

$$t = \sqrt{4082}\left[\frac{1.75}{5} - \frac{1}{(3.14)\times(7)}\right]^{1/2} = 35.5\,cm$$

٨- ٧- تصميم الخلطات الإسفلتية

يتطلب تصميم الخلطات تحديد كمية الإسفلت اللازمة لحصمة من تدرج معين بحيث تحقق هذه الكميات متطلبات محددة من حيث الثبات والمتانة والمرونة والديمومة ومقاومة الانزلاق. الشكل (٨- ٥) يبين مكونات الخلطة الإسفلتية، ولإجراء الحسابات المطلوبة لابد من معرفة الخواص التالية:



شكل(٨- ٥): مكونات الخلطة الإسفلتية.

١) الوزن النوعي لخلطة الركام:

عند طحن الأحجار بالكسارات فإنها تكون أحجاراً لها تدرج من الكبير ثم المتوسط حتى الصغير، والخلطة التي تحتوي على كافة الأحجام تكون قوية وثابتة ميكانيكيا وفراغاتها قليلة نسبيا. ولتحديد الوزن النوعي لخلطة الركام نستخدم المعادلة التالية:

$$G_a = \frac{100}{\frac{w_1}{G_1} + \frac{w_2}{G_2} + \frac{w_3}{G_3}}$$

حيث:

G_a: الوزن النوعي المتوسط لخلطة الركام.

w_1, w_2, w_3: نسبة كسر الأحجار الخشن والناعم والبدرة على التوالي (بالوزن).

G_1, G_2, G_3: الوزن النوعي للركام الخشن والناعم والبدرة على التوالي.

٢) الوزن النوعي للخلطة المدموكة:

يمكن حساب الوزن النوعي النظري الأقصى G_t لنسبة بتيومين معلومة من العلاقة:

$$G_t = \frac{100}{\frac{100 - w_b}{G_a} + \frac{w_b}{G_b}}$$

حيث:

G_t: الوزن النوعي النظري الأقصى.

w_b: نسبة البيتومين (بالوزن).

G_b: الوزن النوعي للبيتومين.

G_a: الوزن النوعي المتوسط للركام.

٣) الكثافة النظرية للخلطة:

الكثافة النظرية للخلطة هي النسبة بين المواد الصلبة والحجم ويمكن حسابها من العلاقة التالية:

$$\gamma_t = \frac{100 \quad G}{G_t}$$

حيث:

γ_t: الكثافة النظرية للخلطة.

G: الوزن النوعي الفعلي لعينة التجربة.

G_t: الوزن النوعي النظري الأقصى.

٤) نسبة الفراغات في العينة:

تحسب نسبة الفراغات الهوائية في العينة V_a من العلاقة:

$$V_a = 1 - \gamma_t = \frac{100\,(G_t - G)}{G_t}$$

٥) نسبة الفراغات المعدنية: (VMA: Voids in the mineral aggregate)

تحسب نسبة الفراغات في الركام المعدني VMA من العلاقة التالية:

$$VMA = 100 - \frac{G}{w_a}$$

حيث:

VMA: نسبة الفراغات المعدنية.

w_a: نسبة الركام (بالوزن).

٦) نسبة الفراغات المملوءة بالإسفلت: (*VFA*: Voids filled with asphalt)

تحسب الفراغات المملوءة بالإسفلت VFA من العلاقة التالية:

$$VFB = \frac{VMA - (100 - \gamma_t)}{VMA} = \left(1 - \frac{V_a}{VMA}\right)$$

حيث:

VFA: نسبة الفراغات المملوءة بالإسفلت.

V_a: نسبة الفراغات الهوائية في العينة.

٨- ٨- تصميم الخلطة بطريقة مارشال (Marshal Method)

يتم تطبيق هذه الطريقة على الخلطات الإسفلتية الساخنة التي تحتوي على الإسفلت الإسمنتي والركام الذي لا يزيد حجم حبيباته عن ٢٥ مم. وتعطي هذه الطريقة خلطات إسفلتية اقتصادية تتميز بالخواص الآتية:

١. نسبة إسفلت كافية لضمان ديمومة ومرونة الخلطة.
٢. فراغات هوائية كافية تسمح باستيعاب الإسفلت.
٣. قوة كافية لمقاومة حركة المرور دون حدوث أي تشوهات في الطبقة.
٤. القابلية لسهولة التعامل.

وتتلخص خطوات هذه الطريقة في العمليات التالي (يجب الرجوع إلى اختبار مارشل في الجزء العملي للتعرف على جهاز مارشل والأدوات الأخرى المستخدمة في الاختبار):

- يتم تجهيز كميات كافية من الركام تكفي لتحضير ٣ عينات يكون وزن كل كمية في حدود ١٢٠٠ جرام
- يفحص الركام ويحدد التدرج المطلوب للخلطة.
- يفحص الإسفلت وتحدد خواصه ومدى مطابقته للمواصفات.
- يسخن الإسفلت والركام كل على حدة إلى درجة الحرارة المطلوبة (١٦٠- ١٦٥ درجة مئوية).
- خلط كميات من الركام بنسب مختلفة من الإسمنت (٤٪، ٤,٥٪، ٥٪، ٥,٥٪، ٦٪، ٦,٥٪، ٧٪).

- يصب كل مخلوط في قالب أسطواني قطره ١٠١,٦ مم وارتفاعه ٧٦,٢ مم ويطرق بمطرقة وزنها ٤,٥٣ كجم تسقط من ارتفاع ٤٥,٨ سم، ويكون عدد الضربات ٣٥ أو ٥٠ أو ٧٥ ضربة حسب نوعية المرور.
- يتم وزن العينات أولا في الهواء وثانيا وهي مغمورة في الماء ومن هذه البيانات يمكن حساب الكثافة الحجمية.
- توضع العينة في حمام مائي درجة حرارته ٦٠ درجة لمدة ٣٠ دقيقة، ثم ترفع وتوضع على جنبها في رأس التكسير لجهاز مارشل ويتم تحميلها بالضغط على محيطها الخارجي إلى أن يحدث الانهيار. يسجل الحمل الأقصى وهو قيمة الثبات، وكمية التحرك إلى أقصى حمل وهي قيمة الاستطالة.
- تكرر هذه التجربة على العينات الأخرى بنسب مختلفة من الإسفلت.
- يتم حساب الكثافة لكل عينة مدموكة، ونسبة الفراغات في كل عينة، والفراغات المعدنية (في الركام)، والفراغات المملوءة بالإسفلت.
- يتم رسم أشكال تبين كمية الإسفلت من جهة والثبات، والاستطالة، والكثافة، والفراغات المعدنية، والفراغات الهوائية في المخلوط، والفراغات المملوءة بالإسفلت من جهة أخرى.
- يتم حساب نسبة الإسفلت المثلى (محتوى الإسفلت الأمثل) من البيانات التي تم الحصول عليها، ثم يتم وضع صيغة معادلة للخلطة التصميمية.

٨- ٩- التصميم بطريقة السوبربيف (Superpave)

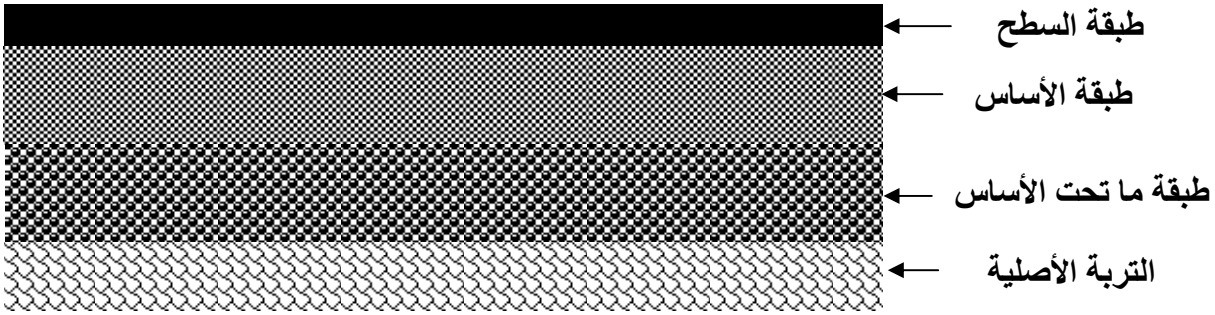
يأتي مصطلح سوبربيف من اختصار عبارة (Superior performing asphalt pavement)، وتعتبر هذه الطريقة من الطرق الحديثة في تصميم الخلطات الإسفلتية. وتعتمد أساسًا على الدمك الدوراني المعملي (Superpave Gyratory Compactor, SGC) حيث يوجد تشابه كبير بين ما يحدث في الموقع عند فرش الخرسانة الإسفلتية ودمكها باستعمال المداحل والهراسات وغيرها وبين الدمك باستعمال طريقة الدمك الدوراني. وتتلخص طريقة الدمك في تعريض العينة الى حمل محوري ثابت أثناء الاختبار قدره ٦٠٠ ± ١٨ kPa، وقوى قص ديناميكية وذلك بتدويم العينة أثناء الاختبار (وقد تم التعرض إلى اختبارات السوبربيف بالتفصيل في الباب الخاص بالاختبارات المعملية لهذا المقرر). ويمكن تلخيص خطوات تصميم الخلطات الإسفلتية بطريقة السوبربيف كالتالي:

١. يتم تحضير ٦ عينات من الخلطة الإسفلتية حسب الطريقة التالية:
   - ٢ منها تحتوي على نسبة إسفلت حسب المعادلة التصميمية المقترحة.
   - ٢ تحتوي على نسبة إسفلت زائدة ب ٠,٥٪ على النسبة التصميمية.
   - ٢ تحتوي على نسبة إسفلت أقل ب ٠,٥٪ على النسبة التصميمية.
٢. توضع العينات في القوالب الخاصة بالدمك ثم توضع في جهاز الدمك الدوراني.
٣. يشغل الجهاز وتدمك العينات حسب المواصفات المخصصة بالدمك المتوقع في الحقل.
٤. يتم تحديد كثافة الخلطات التي تم اختبارها.
٥. تحسب نسبة الإسفلت المثالية التي تعطي نسبة فراغات أقل من ٤٪.

مراحل إنشاء الطرق الإسفلتية

٩- ١ مراحل إنشاء طبقة الأساس وما تحت الأساس

بعد إنهاء عمليات القطع والردم والدمك والتسوية للتربة الأصلية يتم إنجاز سطح ترابي مدحول ومستوٍ توضع عليه طبقات الرصف المختلفة كما هو موضح في الشكل (٩- ١)، وهي طبقة ما تحت الأساس ثم طبقة الأساس ثم طبقة السطح. ويجب أن تكون طبقات الرصف قوية بحيث تتحمل أثقال المركبات وتنقلها إلى الجسم الترابي دون أن يحدث فيها هبوط أو خراب. وحتى نضمن ذلك يجب أن تنشأ طبقات الرصف من مواد قادرة على تحمل الثقل وأن تدمك دمكاً جيداً مع الرش بالماء حسب المواصفات القياسية السعودية.



شكل (٩- ١): مقطع لجسم الطريق يبين طبقات الرصف المختلفة.

٩- ١- ١ مواصفات المواد

تعتبر مواصفات مواد إنشاء الطرق من أهم العوامل التي تؤثر على جودة الطرق وعمرها الافتراضي. فللحصول على طرق ذات جودة عالية والاحتفاظ بها لمدة أطول يجب التأكد من جودة المواد المستخدمة في العمل والموردة إلى الموقع بالإضافة إلى التنفيذ الجيد حسب المواصفات القياسية لطرق الإنشاء.

١) مواصفات المواد المكونة لطبقة الأساس:

يجب أن تتمتع المواد المكونة لطبقة الأساس بخواص جيدة من حيث المتانة والمقاومة وكلما زاد الترابط والاحتكاك بين حبيباتها كلما زادت قوة تحملها ومقدرتها على توزيع الأثقال. وتنشأ طبقة الأساس إما من المكادام أو من مواد حصوية مثبتة بالإسمنت أو بالجير أو معالجة بالبيتومين وقد يكون الأساس من خلطة إسفلتية في بعض الحالات. ويشترط في المواد المكونة لطبقة الأساس المواصفات التالية:

١. يجب أن تكون حبيبات الركام المستخدم في هذه الطبقة متينة وقوية التحمل وخالية من المواد المتحللة، والمواد العضوية، والمواد الضارة الأخرى.
٢. أن يحتوي الركام المستخدم على تدرج حبيبي جيد وخاليًا من المواد الناعمة الزائدة على الحد.
٣. يراعى أن نسبة ٥٥٪ من الركام الخشن يجب أن يكون له على الأقل وجه واحد مكسر.
٤. أن يكون المكافئ الرملي للحصمة ٣٠ كحد أدنى.
٥. ألاّ يتجاوز حد السيولة ٢٥٪ ومعامل اللدونة ٦٪.
٦. ألاّ تزيد نسبة التآكل للحبيبات على ٤٠٪ للطبقة.
٧. ألاّ تقل نسبة قوة كاليفورنيا للتحمل (CBR) عن ٨٠٪.

٢) مواصفات المواد المكونة لطبقة ما تحت الأساس:

توضع طبقة ما تحت الأساس بين الأساس والسطح الترابي، وتكون من مواد ترابية حصوية أقوى من مواد السطح الترابي وأقل جودة من مواد الأساس. ويشترط في هذه المواد المواصفات التالية:

١. أن تحتوي على تدرج حبيبي مناسب بحيث تبقى مستقرة.
٢. أن تكون نسبة المواد الناعمة والمواد اللينة فيها قليلة.
٣. ألاّ يتجاوز حد الميوعة فيها ٢٥٪ ومعامل اللدونة ٦٪.
٤. ألاّ تتجاوز نسبة التآكل للحبيبات فيها على ٥٠٪.
٥. ألاّ تقل نسبة قوة كاليفورنيا للتحمل (CBR) عن ٥٠٪.

٩- ١- ٢ طرق إنشاء طبقة الأساس وما تحت الأساس

١) خطوات إنشاء طبقة ما تحت الأساس:

- يورد الركام بشكل أكوام كافية لإنشاء طبقة مدموكة حسب السمك المطلوب.
- يفرش الركام ويخلط بالماء حسب نسبة الرطوبة المطلوبة ثم تقلب.
- تدمك الطبقة ويجب ألاّ يزيد سمكها بعد الدمك عن ١٥ سم.
- يجب التأكد من دمك جميع المناطق إلى نسبة الدمك المطلوبة.

- بعد إنهاء عملية الدمك يجب التأكد من استواء السطح للطبقة المدموكة.

٢) خطوات إنشاء طبقة الأساس من المكادم المائي:

- يورد الركام بشكل أكوام كافية لإنشاء طبقة مدموكة حسب السمك المطلوب.
- توضع أولا طبقة خشنة من الحصمة تتراوح مابين (١– ٤) بوصة ثم تفرش وتدمك.
- تفرش فوقها طبقة أنعم من الحصمة تتدرج من (٣/٨ بوصة - رقم ١٠٠) وترش بالماء وتدمك.
- توضع طبقة أخرى خشنة تليها طبقة ناعمة وهكذا حتى يتم بناء الطبقة حسب السمك المطلوب.
- يراعى عمل الميل اللازم للسطح ويجب أن يكون خالياً من الأخاديد.

٣) خطوات إنشاء طبقة الأساس من طبقة أو طبقات حصوية:

- تورد الحصمة كأكوام وتوضع كميات كافية لإعطاء السمك المطلوب بعد الدمك.
- قد يلزم إضافة مواد تثبيت لخلطها مع الحصمة لتعديل النقص فيتم رشها على الحصمة.
- تفرش الحصمة وترش بالماء ويبدأ الدمك من الجانبين مع الانتقال التدريجي إلى المنتصف.
- توضع طبقة الأساس على طبقات وتسوى كل طبقة وتدمك ويكون سمك الطبقة ١٥ سم.
- يقاس سمك الطبقة بعد عمل حفر في الطبقات.
- يجب أن يكون الميلان جيداً لتصريف الماء.

٩- ١- ٣ طريقة الاستلام طبقاً للمواصفات السعودية

إن من أولويات المهندس المشرف على المشروع التحقق من أن العينات والاختبارات والأجزاء المنفذة تتوافق مع الطرق المعطاة في المواصفات السعودية، وأن المواد المستخدمة في العمل والموردة إلى الموقع تتوافق مع مواصفات العقد، وفي حالة عدم توافق نتائج الاختبارات مع المواصفات يجب اتخاذ القرار باستبعاد المواد الموردة أو بعدم استلام الأجزاء المنفذة. وعلى المهندس المشرف أن يكون على دراية كافية بالطرق التي تستخدم للحكم على المواد والعينات الموردة للموقع، وذلك لضمان توافقها مع المتطلبات والمواصفات السعودية.

وبالإضافة إلى التأكد من جودة المواد المستخدمة في طبقة الأساس وطبقة ما تحت الأساس حسب المواصفات السعودية المذكورة أعلاه، يجب على المهندس القيام بالقياسات اللازمة والتأكد من مطابقة الأعمال المنفذة للمواصفات القياسية. ويتطلب ذلك التأكد من درجة الدمك للطبقة المنتهية باختبار الكثافة الحقلية وكذلك تقييم الانحرافات السطحية والتأكد من استواء سطح الطبقة باختبار المقطع العرضي للسطح بقدة طولها ٤ متر.وتوصي المواصفات القياسية السعودية على التالي:

١. ألاّ تقل نسبة الدمك عن ٩٥٪ بالنسبة لطبقة الأساس وطبقة ما تحت الأساس.
٢. يجب اختبار المقطع العرضي لسطح طبقة ما تحت الأساس على مسافات مقدارها ٢٥ متر وعند نقاط متوسطة. ويجب ألاّ يزيد الانحراف في ارتفاع السطح فوق الارتفاع التصميمي عن ٢٠ مم، وألاّ يتجاوز الانحراف بالنقص عن مستوى الارتفاع التصميمي ٣٠ مم.
٣. يجب ألاّ ينحرف السطح المنهي لطبقة الأساس عن قدة الاستقامة بين أي نقطتين من نقاط التلامس بأكثر من ١٥ مم.

٩- ٢ مراحل إنشاء الطبقات الإسفلتية

هنالك طرق عديدة للرصف بالإسفلت يمكن تقسيم الأنواع الرئيسة منها: الطبقة التأسيسية، طبقة المعالجة الإسفلتية، والمكادام المسقي، المكادام الإسفلتي، الخرسانة الإسفلتية:

٩- ٢- ١ الطبقة التأسيسية (Prime Coats)

وتسمى كذلك طبقة الدهان وهي عبارة عن رش طبقة من إسفلت سائل فوق طبقة الأساس قبل تغطيتها بالطبقة السطحية، وذلك بغرض سد الفراغات وتغليف الحبيبات السائبة وتحسين خواص الالتصاق بين طبقة الأساس والطبقة السطحية. ويستخدم في هذه الطبقة إسفلتات سائلة سريعة الاختراق من نوع MC-30 أو MC-70 مثلاً، يتم رشها بكميات مدروسة تكون في الغالب بمعدل ما بين (٠,٩ - ٢,٣) لتر/م^{٢} حسب نعومة سطح طبقة الأساس، وتقاس كمية الإسفلت المستخدمة لهذه الطبقة باللتر أو بالطن. وتتم عملية الرش بموزع إسفلت وهو عبارة عن عربة نقل مجهزة بصهريج يوضع فيه الإسفلت السائل ومزودة بوسيلة تسخين ومضخة وخلفها ماسورة مثقبة يخرج منها الإسفلت المضغوط كما هو مبين في الشكل (٩- ٢). كما تستعمل لهذه الطبقة مكانس ميكانيكية وآلات تنظيف هوائية لتنظيف السطح من الأوساخ والغبار قبل الشروع في عملية الرش. ويجب أن يتم الرش في الأجواء غير الممطرة وعند درجة حرارة فوق ١٦ درجة مئوية. وأما درجة حرارة الإسفلت عند الرش فتختلف حسب نوع المادة

المستخدمة والجدول (٩- ١) يعطي بعض القيم الإرشادية لدرجات حرارة بعض الإسفلتات السائلة حسب المواصفات القياسية.

شكل (٩- ٢): عربة توزيع إسفلت.

جدول (٩- ١): درجات حرارة الإسفلت عند الرش.

نوع الإسفلت	درجة حرارة الإسفلت عند الرش (درجة مئوية)	
	الدنيا	القصوى
MC-30 ، RC-30	٣٠	٥٥
MC-70 ، RC-70	٦٠	٨٠
MC-250 ، RC-250	٧٥	٩٥

ولإنشاء طبقة المعالجة الإسفلتية يلزم في البداية تسوية سطح الأساس وتنظيفه من الأتربة والمواد المفككة بواسطة المكانس الميكانيكية وآلات التنظيف الهوائية ثم يرش الإسفلت على السطح بواسطة موزع الإسفلت بالمعدل المطلوب وبانتظام دائم، ولضمان ذلك يجب أن تسير العربة بالسرعة المقررة حسب المواصفات. ويجب التحقق من عدم زيادة نسبة الرش عن المطلوب، وفي حالة وجود أماكن بها زيادة يتم معالجتها قبل فرش المخلوط الإسفلتي، وذلك بوضع كمية من الرمل عليها وتقليبها لأخذ الإسفلت الزائد ثم رفعها بعيداً عن الطريق. كما يفضل منع المرور فوق الطبقة لفترة لا تقل عن ٢٤ ساعة، وبعد هذه المدة تجب مداومة صيانة الطبقة لحين وضع طبقة الإسفلت بحيث لا تزيد هذه المدة عن ٧٢ ساعة.

٩- ٢- ٢ طبقة المعالجة الإسفلتية (Tack Coats)

وتسمى كذلك طبقة اللصق وتستعمل عادة عند إعادة رصف الطبقة السطحية لطبقة إسفلتية قديمة، حيث يتم رش طبقة لاصقة من البيتومين لضمان عدم انزلاق الطبقة الجديدة فوق الطبقة القديمة. ويستخدم في الطبقات اللاصقة الإسفلتات السائلة السريعة الجفاف ذات اللزوجة المنخفضة من صنف RC-70 إلى RC-250. وتتم عملية الرش بواسطة موزع إسفلت بمعدل يتراوح بين (٠,١٩ - ٠,٣٨) لتر/م^{٢} وأما درجة حرارة الإسفلت عند الرش فتتوقف على نوع المادة المستخدمة كما هو مبين في الجدول (٩-١).

٩- ٢- ٣ المكادام المسقي (Grouted Macadam)

يستخدم المكادام المسقي لعمل طرق رخيصة لا تحتاج إلى آلات خلط حيث يتكون الرصف من طبقتين أو ثلاث طبقات من الركام الصلب والإسفلت الساخن، على أن يكون حجم حبيبات ركام الطبقة السفلى أكبر من التي تعلوها. وعادة ما يستخدم فيها إسفلت إسمنتي ذو درجة غرز ١٠٠/٨٠ و ١٥٠/١٢٠ وذلك بعد تسخينه في درجة حرارة ما بين (١٣٥ - ١٧٧) درجة مئوية. ويجب أن يكون الركام المستخدم متينًا وتنص المواصفات على ألا تزيد نسبة التآكل فيه عن ٣٠٪ (اختبار التآكل أو البري للركام).

ولإنشاء طبقة رصف من مكادام مسقي يتم تجهيز السطح في البداية من حيث المنسوب والميول العرضية والكنس، ثم تفرش طبقة الركام الخشن يدويا أو بمعدات ميكانيكية مع التحقق من الميول والسمك المطلوب للركام. وبعدها تدمك هذه الطبقة بهراس ١٠ طن (ذو العجلات الملساء) حتى تتداخل الحبيبات الجافة تماما مع بعضها ثم يرش البيتومين بانتظام فوق سطح الركام المدلوك بواسطة موزع إسفلت بمعدل من ٧,٩ إلى ١٠,٢ لتر/م^{٢} لسمك ٨٩ إلى ١٠٠ ملم. وبنفس طريقة إنشاء الركام الخشن يتم إنشاء باقي الطبقات وفي الأخير يتم رش الإسفلت وتغطيته بالركام ثم دمك الركام لتكوين طبقة عازلة للسطح.

٩- ٢- ٤ المكادام الإسفلتي (Bituminous Macadam)

وهو خلطة سابقة التجهيز يتراوح سمكها بعد الدمك من ٥ إلى ٧,٥ سم ويستخدم كطبقة أساس أو كطبقة سطح. ويمتاز المكادام الإسفلتي بأنه يعطي سمك طبقة رصف أقل من سمك طبقة المكادام

المسقي أو المائي. وعادة ما يستخدم في هذه الخلطة إسفلت صلب ذو درجة غرز (٦٠/٧٠) أو (٨٠/١٠٠) حسب جو المنطقة. ولإنشاء طبقة رصف من مكادام إسفلتي نتبع الخطوات التالية:

- إعداد الخلطة مسبقا حيث يتم تسخين مكونات الخلطة كل على حدة ثم يتم الخلط في خلاطة مركزية أو متحركة عند درجات الحرارة المقررة ويستمر الخلط حتى نحصل على خلطة متجانسة ثم ينقل الخليط إلى الموقع. الشكل (٩- ٣) يبين أحد أنواع الخلاطات المتحركة.
- إعداد الطبقة الموجودة من حيث المنسوب وتسوية الأخاديد وجعل السطح منتظماً ونظيفاً.
- رش طبقة تأسيسية من الإسفلت بسمك قليل على الطبقة.
- فرش خلطة الإسفلت بالسمك المطلوب بواسطة آلة فرش الإسفلت كما هو مبين في الشكل (٩-٤) مع التحقق من الميول العرضية.
- الدمك بهراسات ذات وزن من (٨ – ١٠) طن (عجل امامي وخلفي).
- تشطيب السطح بحيث لا تظهر به أي خطوط بارزة (اخاديد) نتيجة للهرس الرديئ.

شكل (٩- ٣): خلاط ميكانيكي متحرك.

شكل (٩- ٤): آلة فرش الإسفلت.

٩- ٢- ٥ الخرسانة الإسفلتية (Asphaltic Concrete)

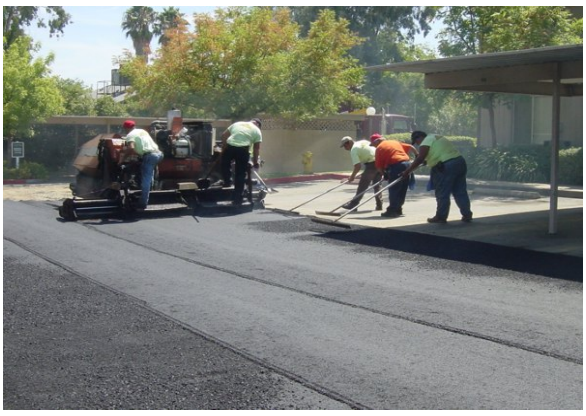
يعتبر الرصف بالخرسانة الإسفلتية أفضل أنواع الرصف بالإسفلت. ويستعمل لرصف الطرق الجديدة وتكون بسمك من ٥ سم في حالة الطرق ذات المرور الخفيف إلى ١٠ سم في حالة المرور الثقيل جدًا. ويستعمل كذلك كطبقة سطح علوي فوق طريق قديم مرصوف بالمكادام بسمك حوالي ٣ سم. ونظراً لارتفاع تكاليف الخرسانة الإسفلتية فإن الأمر يتطلب الاهتمام بتصميم الخلطة حتى نحصل على نتائج جيدة. ويتم تحضير الخلطة المكونة من الركام الخشن والركام الناعم والبودرة والبيتومين مسبقاً في

محطات الخلط الساخن حيث تكون درجة حرارة الخلط ما بين (١٣٩ – ١٦٣) درجة مئوية كما تنص على ذلك المواصفات القياسية الحديثة (وقد سبق شرح ذلك في الباب السابع)، ثم تنقل الخلطة المتجانسة إلى موقع العمل ليتم فرشها بواسطة معدات خاصة بذلك.

ويجب التأكد من مطابقة الخلطة للمعادلة التصميمة، ويتم ذلك بأخذ عينات دوريًا من الخلاطة لاختبارها والتأكد من مواصفاتها. ويجب وصول الخلطة إلى الموقع وهي في درجة حرارة مرتفعة وتنص بعض المواصفات على ألا تقل درجة حرارة الفرش عن ١٢٠ درجة مئوية، وتمنع المواصفات من فرش الخراسنة الإسفلتية في الأجواء الماطرة أو الباردة التي تقل فيها درجة الحرارة عن ٤ درجات مئوية.

٩- ٢- ٦ فرش المخلوط وتسويته

قبل فرش الخلطة الإسفلتية يتم فرش طبقة تأسيسية من الإسفلت السائل فوق طبقة الأساس وذلك للصق الحبيبات السائبة الموجودة في طبقة الأساس ولعزل الرطوبة من الوصول إلى الرصف وكذلك تعمل هذه الطبقة على ربط طبقة الأساس بطبقة السطح. بعدها يتم فرش الخلطة الإسفلتية بواسطة ماكينات الفرش التي تضمن فرش الخلطة بسمك منتظم كما هو موضح في الشكل (٩- ٥). يتم صب الخلطة الإسفلتية على شكل شرائح (مسارات) متتالية ومتجاورة لا يقل عرضها عن ٣,٠ م فيما عدا الشرائح الطرفية التي عرضها أقل من ذلك. ويتم صب الخرسانة الإسفلتية على طبقات لا يزيد سمكها عن ١٠ سم للطبقة تحت القاعدية ولطبقة القاعدة وللطبقة السطحية ما لم يذكر خلاف ذلك. وفي الأخير تتم تسوية السطح ويجب أن يكون سمك الطبقة والميول العرضية حسب متطلبات المشروع.



الشكل (٩- ٥): فرش الخلطة الإسفلتية وتسويتها.

٩- ٢- ٧ مراحل دمك الخلطة الإسفلتية

تعدّ عملية دمك الخرسانة الإسفلتية من أهم الأعمال في إنشاء طبقة السطح، لأنها تزيد في كثافة الخلطة وتقلل من الفرغات فيها وتكسبها مقاومة وثباتاً أكبر. وتدمك الخلطات الإسفلتية باستخدام

المداحل ذات العجلات الملساء بوزن من (٨ - ١٢) طن وبالمداحل ذات الإطارات المطاطية بوزن من (١٥ - ٣٠) طن. فتبدأ عملية الدمك الابتدائي بمدحلة ذات الإطارات الملساء بمعدل سرعة لا تتعدى ٥ كلم / ساعة ويلي ذلك دمك بواسطة بمدحلة ذات الإطارات المطاطية كما هو موضح في الشكل (٩- ٦). وتبدأ عملية الدمك طولياً ابتداءً من الجوانب وباتجاه محور الطريق. ويتم الدمك في مسارات متلاحقة تتراكب معاً بمعدل لا يقل عن نصف عرض أسطوانة المدحلة. وتستمر عملية الدمك إلى أن تصبح آثار الهراس غير مرئية على السطح ويتوقف عدد مرات الدمك على سمك الطبقة وفي المناطق الحارة يفضل إعادة الدمك في اليوم التالي لزيادة الكثافة. وبعد إنهاء عملية الدمك النهائية، يجب التحقق من نسبة الدمك وسمك الطبقة بأخذ قوالب لاختبارها حيث يتم أخذ مجموعة واحدة مكونة من خمس عينات لكل ٢٠٠ متر طولي باستخدام المثقاب المحوري، ويجب أن تصل نسبة الدمك إلى ٩٥ ٪ من الكثافة النظرية القصوى. ويتم كذلك فحص نعومة الطبقة السطحية كما يتم إصلاح أية عيوب تزيد عن نسب التفاوت المسموح بها أو التي تحتفظ بالماء على السطح. ويجب التحقق من الميول العرضية للسطح النهائي على ألا تزيد عن ٣٪ ولا تقل عن ٢٪ في حالة الطرق ذات الميول المستقيمة.

الشكل (٩- ٦): مراحل دمك الطبقة الإسفلتية.

٩- ٢- ٨ أسس المراقبة الفنية والتقنية للخلطة الإسفلتية

لمراقبة مواد الخلطة الإسفلتية والتأكد من جودتها ومطابقتها للمواصفات نتبع الأسس التالية:

١. التأكد من جودة الركام المستخدم في الخلطة ويتم ذلك عن طريق مطابقة نتائج الاختبارات التالية للمواصفات السعودية: اختبار التدرج الحبيبي، اختبار معامل اللدونة للمواد الناعمة، اختبار المكافئ، الرملي، اختبار مقاومة التآكل، اختبار الأصالة.

٢. مراقبة اختبار مارشال على الخلطة الإسفلتية والتحقق من مطابقة نتائج الاختبارات للمواصفات: التصميمية: نسبة الإسفلت، والتدرج، والثبات، والتدفق، ونسبة الفراغات الهوائية ونسبة الفراغات المملوءة بالإسفلت.

٣. مراقبة عملية خلط الإسفلت وتجانسه قبل الفرش، والتأكد من مطابقة النسبة للمعادلة التصميمية.

٤. التأكد من درجة حرارة الخلطة الإسفلتية أثناء الخلط ما بين (١٣٩- ١٦٣) درجة مئوية.

٥. أخذ عينات بصفة دورية من الخلطة خلف الفرادة لإجراء اختبار الاستخلاص والتحقق من كمية البيتومين وسلامة التدرج للركام ومطابقة نتائج الاختبارات للمواصفات.

٩- ٢- ٩ طريقة استلام تنفيذ الخلطة الإسفلتية طبقاً للمواصفات السعودية

لاستلام تنفيذ الخلطة الإسفلتية طبقاً للمواصفات السعودية يجب اتباع الأسس التالية:

١. التأكد من مدى مطابقة نسب مكونات خلطة العمل بالرصف، يتم سحب عينات من الخلطة الساخنة من مكان تفريغها ومن ثم تجرى عليها اختبارات لتعيين تدرج الركام ونسبة الإسفلت وذلك لكل ٥٠٠ طن من الخلطة الإسفلتية على ألاّ تقل عن اختبار واحد يومياً.

٢. التأكد من درجة حرارة الخلطة الإسفلتية أثناء الخلط ما بين (١٤٩- ١٦٣) درجة مئوية.

٣. التأكد من تنظيف سطح الطبقة اللاصقة باستعمال ضواغط الهواء.

٤. التأكد من درجة حرارة المادة الإسفلتية السائلة عند الرش وتكون حسب الجدول (٩- ١).

٥. التأكد من انتظام الرش للطبقة التأسيسية طبقاً للمعدل المطلوب ويكون ما بين (٠,٩ - ٢,٣) لتر/ م^{٢} وتقاس كمية الإسفلت المستخدمة في هذه الطبقة باللتر أو بالطن. وفي حالة وجود أماكن بها زيادة في نسبة الرش فتتم معالجتها قبل فرش المخلوط الإسفلتي.

٦. عدم فرش المخلوط الإسفلتي على سطح رطب أو في درجة حرارة أقل من ٤ درجات مئوية. والتأكد كذلك من درجة حرارة الخلطة الإسفلتية أثناء الفرش (لا تقل عن ١٢٠ درجة مئوية).

٧. مراقبة عملية فرش الخلطة والتأكد من سمك الطبقة بزياد حوالي (١٥ - ٢٠ ٪) قبل الدمك.

٨. في حالة فرش المخلوط الإسفلتي في أكثر من طبقة فلا يتم الإذن بفرش الطبقة اللاحقة إلا بعد إتمام دمك الطبقة السابقة بهراسة حديدية مزدوجة لا يقل وزنها عن ١٠ طن.

٩. التأكد من أن الفواصل الإنشائية عمودية على سطح الطريق وبكامل عمق الطبقة. وتكون الإزاحة في الفواصل الطولية بمقدار ١٥٠ مم على الأقل في مختلف طبقات الخرسانة الإسفلتية. ويتم دحل الفواصل الطولية مباشرة بعد فرش الخرسانة الإسفلتية.

١٠. يتم قطع الرصف الخرساني الإسفلتي في نهاية العمل اليومي رأسياً بكامل عمق الطبقة للحصول على سطح مكشوف لإمكانية الصب بجواره وجهاً لوجه فيما بعد.

٩- ٢- ١٠ ضبط الجودة للطبقات الإسفلتية

بعد الانتهاء من تنفيذ عملية الدمك النهائي للخلطة الإسفلتية يجب التأكد من ضمان الجودة للطبقات المرصوفة ليتم استلامها نهائيًا حسب المواصفات القياسية السعودية. ولتحقيق ذلك نتبع الأسس التالية:

١. أخذ عينات باستخدام المثقاب المحور وتكون خمس عينات لكل ٢٠٠ متر طولي أو مسطح لا تقل مساحته عن ١٠٠٠ م^{٢}.

٢. يتم اختبار العينات في معمل متخصص وتحديد:

- الكثافة والوزن النوعي للخلطة الإسفلتية: يجب أن تكون حسب المواصفات المعتمدة.
- سماكة الطبقات المدموكة: يجب ألا يقل معدل السمك الإجمالي فيها عن السمك المحدد حسب المخططات.
- نسبة الدمك: يجب ألاّ تقل عن ٩٥ ٪ من الكثافة النظرية القصوى.

٣. التأكد من نعومة الطبقة السطحية بعد إنهاء عملية الدمك النهائية، ويتم إصلاح أية عيوب تزيد عن نسب التفاوت المسموح بها أو التي تحتفظ بالماء على السطح. ويجب ألا يزيد الاختلاف في الطبقة السطحية مقاسة من أسفل القدة المستقيمة إلى سطح الرصيف عن ٣,٠ مم لكل ٣ م باتجاه مواز لمحور الرصف ولا يزيد عن ٦ مم لكل ٣ م بالاتجاه المتعامد مع محور الرصف.

٤. التأكد من المناسيب واستواء السطح بعد الدمك طوليًا وعرضيًا باستخدام أجهزة المساحة.

٥. يجب التحقق من الميول العرضية للسطح النهائي على ألا تزيد عن ٣٪ ولا تقل عن ٢٪ في حالة الطرق ذات الميول المستقيمة.

صيانة الطرق الإسفلتية والخراسانية

مقدمة

يحتاج الطريق إلى صيانة مستمرة منذ لحظة الانتهاء من تنفيذه لكي يبقى صالحاً للمرور في صورته الأصلية طيلة عمره الافتراضي. والصيانة يمكن تعريفها على أنها عمل مستمر لحماية الطريق من الأضرار والتلف بهدف إدامة عناصره المتعددة لتعمل بشكل كفؤ وتحقق الغاية التي انشئت من أجلها وتوفر مستوى خدمة آمن عليه. فهي إذاً مجموعة الإجراءات والمعالجات التي يتم اتخاذها للمحافظة على جسم الطريق من التلف والخراب وإطالة العمر التشغيلي لها. وخراب الطريق هو مصطلح يدل على التغيير في حالتها نتيجة عوامل السير المتزايدة وطبيعته والعوامل البيئية ومستوى خدمة (صيانة) الطريق والتي تتلخص فيما يلي:

- التغير في درجات الحرارة اليومية والوحدةية
- المياه والرطوبة
- كثافة المرور وتكراره
- الحمولات المحورية الزائدة
- ضعف خصائص تربة الأساس
- مؤثرات خارجية بشرية وطبيعية

أنواع الانهيارات

هناك أشكال مختلفة من العيوب التي تحدث للطرق والتي في الغالب ما تبدأ على شكل تشققات بسيطة تظهر على السطح، ولكن بتراكمها وعدم صيانتها تتسع شيئاً فشيئاً فتؤدي إلى تفتت للرصف وانهيار للطريق كلياً. وحسب دليل تقويم عيوب وأداء الطرق للمملكة العربية السعودية، فإنه يمكن تقسيم هذه العيوب إلى ست مجموعات وهي:

١. الشقوق (Cracking)
٢. الرقع (Patching)
٣. الحفر (Potholes)
٤. تشوهات سطحية (Surface Deformation)
٥. تلف سطحي (Surface Defects)
٦. عيوب أخرى (Miscellaneous Distresses)

١٠- ٢- ١- **الشقوق**(Cracking)

هي عبارة عن شروخ أو فتحات تحدث على سطح الطبقة الإسفلتية وتكون على عدة أشكال حسب درجة عمقها وطول امتدادها وكثافتها، فمنها السطحية ومنها العميقة التي تكون بكامل عمق الطبقة الإسفلتية، ومنها القصيرة التي يكون طولها بضع سنتيمترات فقط ومنها الطويلة التي يصل طولها إلى عدة أمتار، وكذلك منها المنفردة ومنها الكثيرة والمتقاربة ببعضها. ويمكن تقسيم الشقوق إلى الأنواع التالية:

١. **شقوق الكلل** (Fatigue Cracking): وتعرف كذلك بالشقوق التمساحية وهي عبارة عن شقوق متداخلة ومتوالية تحدث في الغالب في مسار عجلات المركبات نتيجة انهيار الكلل للخرسانة الإسفلتية وذلك بسبب تأثير الأحمال المتكررة على الرصف، وغالبًا ما يكون ضعف أساس الطريق عاملاً أساسيًا في حدوث شقوق الكلل. وإذا تركت هذه الشقوق بدون صيانة فإنها تتحول إلى حفر خطرة على سلامة المركبات. ويمكن تقسيمها إلى ثلاث مستويات من الشدة: خفيف، متوسط وشديد كما هو مبين في الشكل (١٠- ١). فتبدأ كشقوق خفيفة وغير متقاطعة ثم تزداد كثافتها وعمقها بازدياد تأثير الأحمال المتكررة إلى أن يؤدي ذلك إلى تقسيم طبقة الرصف إلى أجزاء منفصلة وقد يكون بعض تلك الأجزاء مرتفعًا عن بقية الرصف. ويتم قياس مستوى الشدة بحساب المساحة المتأثرة بالشقوق بالمتر المربع.

شكل (١٠- ١): نموذج من شقوق الكلل.

٢. **شقوق شبكية** (Block Cracking): وهي عبارة عن شقوق متقاطعة بشكل منتظم وتقسم طبقة الرصف إلى مربعات تتراوح مساحاتها من حوالي (٠,٣ م X ٠,٣ م) إلى (٣ م X ٣ م)، وتكون على ثلاثة مستويات من الشدة، فمنها الخفيفة التي لا يتعدى عرضها ٦ مم، ومنها المتوسطة التي يصل عرضها إلى حوالي ١٩ مم، ومنها الشديدة التي يتعدى عرضها ١٩ مم. وتكثر الشقوق الشبكية خاصة في الطرق والشوارع ذات الأحجام المرورية المتدنية وفي ساحات مواقف السيارات الشكل (١٠- ٢) يبين

نماذج من شقوق شبكية. وتُعتبر الشقوق الشبكية من العيوب الوظيفية والإنشائية والسبب الأساس لهذه الشقوق هو الانكماش الحراري للمواد الإسفلتية الرابطة نتيجة للانفعال والإجهاد الدوري، كما يُشير ظهور هذه الشقوق إلى تصلب الإسفلت بدرجة كبيرة كما أن الخرسانة الإسفلتية الضعيفة تُعجل من بداية ظهور هذه الشقوق. وتُقاس الشقوق الشبكية بالمتر المربع للمنطقة المتأثرة ولجميع مستويات الشدة، وتقاس كثافة العيب بقسمة المساحة المتأثرة به على المساحة الكلية للمقطع الممسوح مضروباً بمائة.

شكل (١٠- ٢): نماذج من شروخ شبكية.

٣. **شقوق جانبية** (Edge Cracking): تكون هذه الشقوق على شكل تشققات طولية كما هو مبين في الشكل (١٠- ٣) وتحدث في الجزء الجانبي للطريق وتبدأ من طرف الطبقة وتتجه إلى الداخل ويصاحبها أحيانًا شقوق أرضية متجهة إلى كتف الطريق. وغالبًا ما يكون السبب في حدوث هذه الشقوق هو عدم وجود دعم جانبي أو عدم وجود كتف للطريق وكذلك عند حدوث تصدعات لطبقة الأساس أو لعدم وجود نظام تصريف المياه. ويمكن تقسيم الشقوق الجانبية إلى ثلاثة مستويات من الشدة وهي:

- مستوى منخفض: وهي شقوق سطحية غير عميقة وبدون حدوث أي تكسرات لجانب الطريق.
- مستوى متوسط: وهي شقوق عميقة مع حدوث تكسرات لجانب الطريق وتطاير أقل من ١٠٪ من مواد الرصف المتأثر.
- مستوى شديد: عبارة عن شقوق كثيرة وعميقة مع حدوث تكسرات لجانب الطريق وتطاير أكثر من ١٠٪ من مواد الرصف المتأثر.

شكل (١٠- ٣): شروخ جانبية.

٤. **شقوق طولية** (Longitudinal Cracking): تكون هذه الشقوق على امتداد طبقة الرصف وموازية لمحور الطريق وتحدث في الغالب على مسار الإطارات وعند وصل حارتين أو وصل كتف بحارة (وتسمى هذه بشقوق الفواصل كذلك) كما هو مبين في الشكل (١٠- ٤). وتكون على ثلاثة مستويات من الشدة، إما خفيفة إذا كان عرضها أقل من ٦ مم، أو متوسطة عندما يكون عرضها من ٦ مم إلى ١٩ مم، أو شديدة عندما يكون عرضها أكبر ١٩ مم. ويتم قياسها بقياس طول مسار الإطارات المتأثرة بالشقوق وذلك بالمتر الطولي مع تحديد مستويات الشدة.

شكل (١٠- ٤): شقوق طولية.

٥. **شقوق عرضية** (Transverse Cracking): الشكل (١٠- ٥) يوضح حدوث الشقوق العرضية وهي تشققات تمتد بعرض الرصف تقريباً متعامدة مع محور الطريق وتعتبر من العيوب الإنشائية التي تحدث بسبب ضعف طبقة الرصف، ويمكن تقسيمها إلى ثلاثة مستويات من الشدة:

- منخفضة وهي عبارة عن شقوق بعرض أقل من ٦ مم.
- متوسطة وهي عبارة عن شقوق بعرض ما بين ٦ و ١٩ مم.
- شديدة وهي عبارة عن شقوق بعرض أكبر من ١٩ مم.

شكل (١٠- ٥): تشققات عرضية.

٦. **شقوق انعكاسية** (Reflection Cracking): تحدث عندما توضع طبقة رصف جديدة فوق طبقة رصف قديمة فيها شقوق أو فواصل تمدد (في حالة الرصف الخرساني) حيث تنعكس هذه الشقوق إلى الطبقة الجديدة كما هو مبين في الشكل (١٠- ٦).

شكل (١٠- ٦): شقوق انعكاسية.

١٠- ٢- ١١ **الرقع** (Patching)

يتضمن هذا النوع من العيوب انهيار موقع صيانة أوترقيع لطبقة الرصف. وفي الحقيقة فإن الترقيع يُعتبر عيباً بحد ذاته حتى لو كان أداؤه جيداً، وبشكل عام تتعلق بعض خشونة سطح الرصف بهذا العيب. وتتضمن الأسباب المحتملة لعيب الترقيع عدم ضبط جودة المواد المستخدمة أو سوء تنفيذ إعادة الردم وكذلك سوء تشغيل الإسفلت. وهناك ثلاثة مستويات من الشدة لهذا العيب كما هو موضح في الشكل (١٠- ٧):

- مستوى منخفض: هو المستوى الذي يؤثر بشكل بسيط على مستوى جودة القيادة ويكون فيه الترقيع بحالة جيدة.

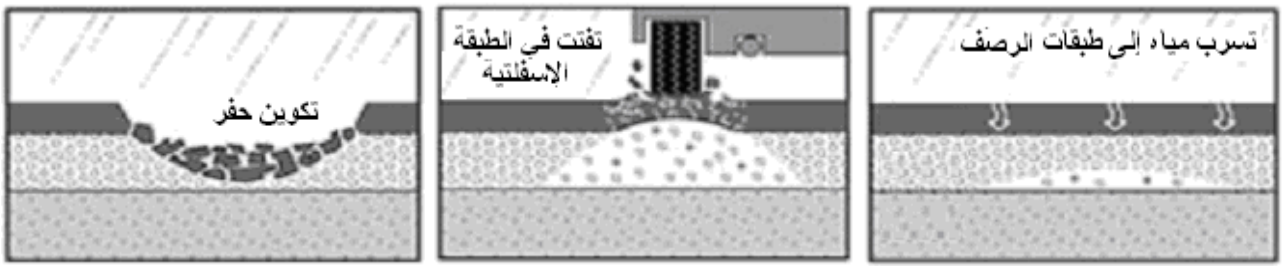
- مستوى متوسط: هو المستوى الذي يؤثر بشكل متوسط على مستوى جودة القيادة ويكون فيه الترقيع متدهوراً تدهوراً متوسطاً.
- مستوى عالٍ: هو المستوى الذي يؤثر بشكل شديد على مستوى جودة القيادة ويكون فيه الترقيع متدهوراً بشكل كبير ويحتاج إلى صيانة فورية.

ويُقاس الترقيع بالمتر المربع للمنطقة المتأثرة لجميع مستويات الشدة، وإذا كان هناك مستويات شدة مختلفة في الترقيع الواحد فيجب قياس كل مستوى شدة على حدة.

شكل (١٠- ٧): عيوب الرقع.

١٠- ٢- ١٢الحفر(Potholes)

- تتكون الحفر في الطبقة الإسفلتية وتكون بمقاسات مختلف من حيث العمق والاتساع كما هو مبين في الشكل (١٠- ٨)، وتظهر نتيجة تفتت في طبقة الرصف من جراء حركة المرور. وعادة ما يكون ضعف الطبقة الإسفلتية هو السبب الرئيس في تكوين الحفر وينتج ذلك بسبب سوء الخلطة الإسفلتية (انخفاض في نسبة الإسفلت أو الزيادة في نسبة الحصمة الناعمة) وكذلك بسبب نقص في سمك الطبقة وسوء تصريف المياه عن سطح الطريق وفي المراحل المتأخرة لشقوق الكلل.



شكل (١٠- ٨): حفر على السطح.

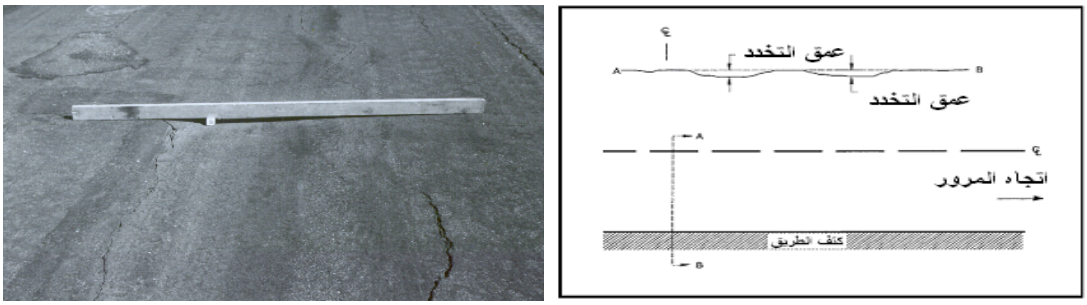
وتكون الحفر على ثلاثة مستويات من الشدة حسب العمق:

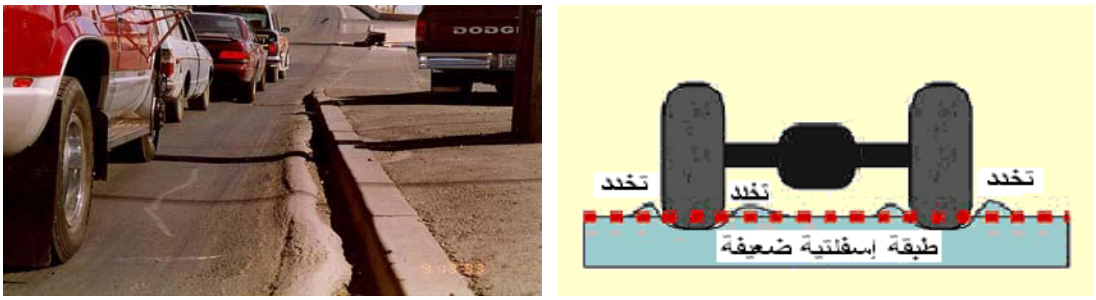
- مستوى منخفض: وهي الحفر التي لا يزيد عمقها عن ٢,٥ سم.
- مستوى متوسط: وهي الحفر التي يتراوح عمقها ما بين ٢,٥ سم و٥ سم.
- مستوى عالٍ: وهي الحفر التي يزيد عمقها عن ٥ سم.

١٠- ٢- ٣ التشوهات السطحية (Surface Deformation)

تكون التشوهات السطحية على شكل تخدد أو على شكل زحف وهي كالتالي:

١. **التخدد** (Rutting): وهو عبارة عن حدوث انضغاط على شكل قنوات في سطح الطريق بأماكن سير إطارات المركبات. ويحدث التخدد نتيجة الأحمال الزائدة وكذلك بسبب الحركة الجانبية لطبقة السطح إذا لم يكن لديها المقدرة على تحمل أوزان المركبات. وقد يحدث التخدد أيضًا في طبقة الرصف الجديدة التي لم يتم دمكها جيدًا خلال الإنشاء. ويتم تسجيل التخدد بقياس عمق الهبوط وهو المسافة بين سطح الطريق وأخفض نقطة في الهبوط كما هو مبين في الأشكال (١٠- ٩).





شكل (١٠- ٩): موقع وشكل التخدد على سطح الطريق.

٢. **الزحف** (Shoving): وهو عبارة عن حركة طولية لمساحة محددة من سطح الطريق على شكل انتفاخ. ويحدث هذا العيب في الغالب في أماكن التقاطعات وقبل إشارات المرور نتيجة تأثير قوة دفع المركبات إلى الأمام عند التوقف وبدء الحركة من جديد (الفرملة). ويحدث الزحف في الخلطات الإسفلتية التي تفقد الثبات وذلك نتيجة الزيادة في نسبة الإسفلت أو الزيادة في نسبة المواد الناعمة. ويتم قياس الزحف بتحديد عدد التموجات والمساحة المتأثرة بالمتر المربع. الشكل (١٠- ١٠) يبين نموذجاً من الزحف.

شكل (١٠- ١٠): نماذج من زحف السطح.

١٠- ٢- ٤ التلف السطحي (Surface Defects)

يحدث التلف السطحي للطريق على ثلاثة أشكال وهي: طفح الإسفلت، التطاير والتآكل للحصمة كما هي مبينة في الشكل (١٠- ١١). وتعرف هذه العيوب كالتالي:

١. **طفح الإسفلت** (Bleeding): ويعرف كذلك بالتدميع وهو عبارة عن خروج المادة الإسفلتية من طبقات الرصف إلى السطح وتشكل هذه المادة على السطح طبقة زجاجية لامعة ولزجة الملمس وقد تلتصق بعجلات المركبات. ويحدث هذا العيب نتيجة زيادة المواد الإسفلتية الرابطة أو زيادة نسبة الإسفلت في الخلطة الإسفلتية.

٢. **التطاير** (Raveling): هو فقدان طبقة السطح الإسفلتية للمواد المكونة لها نتيجة الأحوال الجوية أو احتكاك الإطارات. وعادة ما تبدأ الحصمة الناعمة أولاً بالتطاير تاركة فراغات وباستمرار عملية الاحتكاك تبدأ الحصمة الخشنة بالتطاير تاركة سطح عالي الخشونة. ويحدث التطاير نتيجة سوء تصميم الخلطة الإسفلتية أو سوء إنشاء الطبقة الإسفلتية.

٣. **تآكل حصمة السطح** (Polished Aggregate): هو عبارة عن تعري حصمة الطبقة السطحية وتآكلها بسبب فقدانها للمواد الإسفلتية المغطية لها ويحدث ذلك نتيجه لضعف جودة الخلطة الإسفلتية.

(طفح الإسفلت)

(تطاير الركام)

(تآكل الحصمة)

شكل (١٠- ١١): التلف السطحي.

١٠- ٢- ٥ عيوب مختلفة

هناك عيوب أخرى يمكن أن تحدث للطريق وهي:

- هبوط في طبقة الرصف أو في الأكتاف وتتم ملاحظة ذلك خاصة بعد نزول مطر (لتجمع المياه به). ويعتبر هذا العيب من العيوب الناتجه عن هبوط طبقات التأسيس أثناء الإنشاء أو نتيجة للأحمال الزائدة التي تضغط على طبقة التأسيس فتؤثر عليها.
- طفح المياه إلى سطح الطريق من خلال شقوق في طبقة الرصف ويحدث هذا بسبب ارتفاع مستوى المياه السطحية.

١٠- ٣- أسباب انهيار الرصف المرن

هناك أسباب متعددة يمكن أن تؤدي إلى انهيار الرصف المرن منها ما هو متعلق بالناحية التصميمة ومنها ما هو متعلق بمواصفات المواد المستخدمة وجودتها ومنها ما هو متعلق بطرق الإنشاء:

١. زيادة الأحمال المتكررة على الطريق نتيجة الزيادة في حجم المرور.

٢. تصميم غير كاف لطبقات الرصف المختلفة من حيث السمك.

٣. استخدام مواد إسفلتية غير صالحة أو غير مطابقة للمواصفات.

٤. استخدام حصمة رديئة وغير مطابقة للمواصفات القياسية.

٥. ضعف التدرج الحبيبي لطبقة الأساس وكذلك للحصمة المستخدمة في الخلطات الإسفلتية.

٦. تصميم غير جيد للخلطة الإسفلتية من حيث نوع الحصمة وتدرجها ونسبة المادة البيتومينية، وهذا يؤدي إلى عدم ثبات لطبقة الرصف الإسفلتية بالإضافة إلى زحفها وتموجها.

٧. زيادة أو نقصان في درجة حرارة الخلط للخلطة الإسفلتية أوصب الخلطة في درجة حرارة أقل مما تنص عليه المواصفات.

٨. زيادة في كمية المادة البيتومينية الرابطة يؤدي إلى طفح الإسفلت على سطح الطريق.

٩. ضعف جودة الخلطة الإسفلتية يؤدي إلى ظهور تشققات على سطح الطريق وكذلك تطاير وتآكل حصمة الطبقة السطحية.

١٠. عدم وجود مرونة كافية في الخلطة الإسفلتية يجعلها هشة لا تتحمل الانحناءات المستمرة.

١١. عدم وجود تماسك بين طبقات الرصف المختلفة.

١٢. سوء دمك أو دمك غير كافٍ لطبقات الرصف المختلفة.

١٣. سوء تصريف المياه وتراكمها على السطح.

١٤. هبوط في تربة الردم أو انزلاق الميول الجانبية.

١٥. انضغاط في التربة الأصلية أو في أحد الطبقات بسبب ضعف في قوة تحملها.

١٦. وضع طبقة رصف جديدة على طبقة قديمة فيها تشققات (أو فواصل تمدد في حالة الطرق الخرسانية) حيث تنعكس هذه التشققات إلى الطبقة الجديدة.

١٧. عدم القيام بأعمال الصيانة اللازمة للطريق يؤدي إلى تدهور طبقات الرصف المختلفة.

١٠- ٤- أسباب انهيار الرصف الصلب

يحدث الانهيار في الرصف الصلب لعدة أسباب منها:

١. شروخ نتيجة الانكماش والتمدد في البلاطة الخرسانية.

٢. شروخ نتيجة للالتواء.

٣. تكسير الفواصل.

٤. رداءة المواد المستعملة في الخلطة الخراسانية تؤدي إلى تقشر البلاطة الخرسانية.

٥. سوء في نقل وفرش الخلطة الخرسانية.

٦. حركة التربة العميقة تتسبب في انزلاق مما يؤدي إلى تشققات طولية.

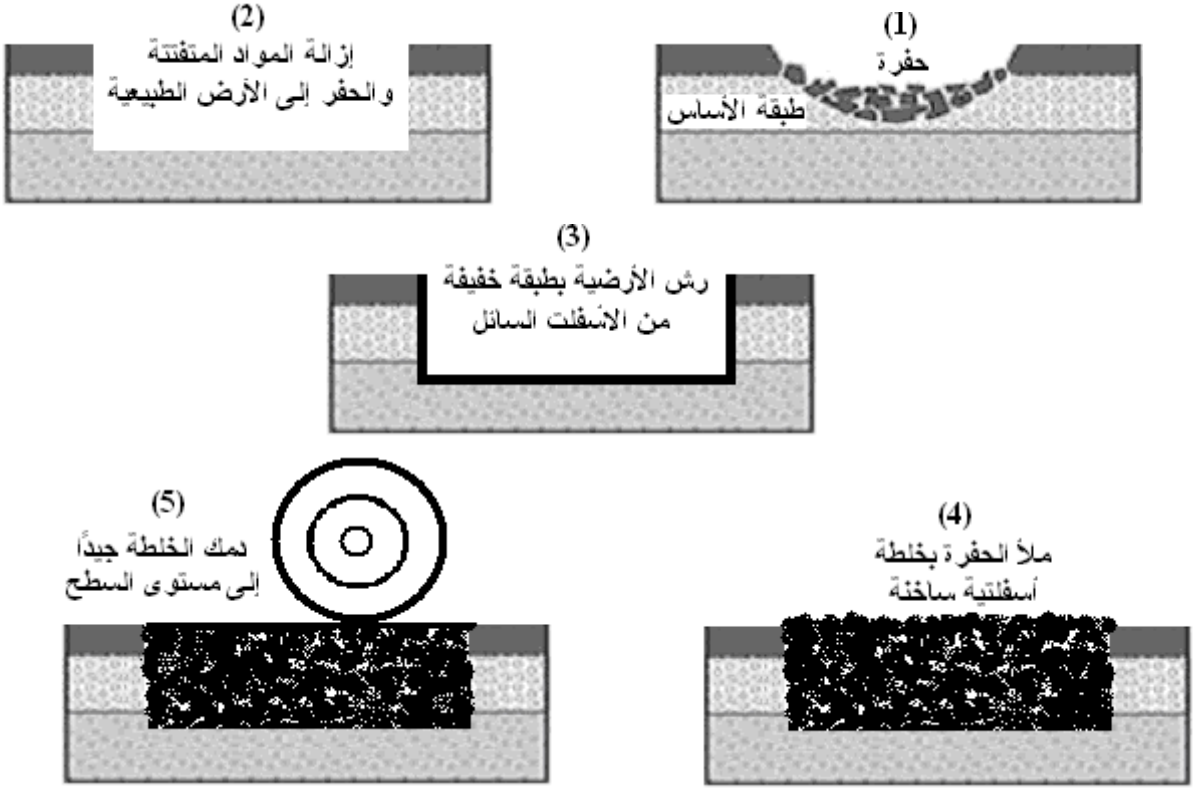
٧. صعود المياه إلى أعلى الشقوق.

١٠- ٥- عيوب سطح الرصف الإسفلتي والأسلوب المثالي لصيانته

يتأثر سطح الرصف الإسفلتي للتغييرات في درجات الحرارة وللأمطار المتراكمة عليه وللزيادة في أحمال المرور المتكررة وكل هذه العوامل تكون سبباً في حدوث تشققات بسيطة على السطح في مرحلة أولى، ولكن بتراكمها تتسع هذه التشققات وتؤدي إلى تفتت طبقة الرصف وينهار الطريق كلياً. فإذا حصلت تشققات بسيطة في سطح الطريق فإن ذلك يتطلب أعمال صيانة غير مكلفة لإغلاقها وإصلاح الطريق، ولكن إذا تركت هذه التشققات بدون صيانة فإن ذلك يتسبب في تسرب مياه الأمطار إلى داخل جسم الطريق مما يؤدي إلى تفتت وهبوط طبقات الرصف المختلفة. وحتى يبقى الطريق صالحاً طيلة عمره الافتراضي فإن ذلك يتطلب أعمال صيانة مستمرة وبأسلوب علمي. فتجب مراقبة الطريق باستمرار لتحديد العيوب التي قد تحدث في الرصف منذ اللحظة الأولى وتقويمها والتعرف على مسبباتها ثم القيام بصيانتها بالطريقة الصحيحة. وتشمل طرق الصيانة اللازمة لتشوهات الرصف الإسفلتي الترقيع وملء الشقوق وإعادة وضع طبقة على سطح الطريق.

١. **الترقيع**: يعتبر الترقيع أكثر أعمال الصيانة التي تحتاجها الطرق الإسفلتية وذلك بسبب العيوب التي قد تحدث فيها نتيجة العوامل الطبيعية أو بسبب أعمال الحفر التي يقوم بها الإنسان لعمل التمديدات الخاصة بالخدمات العامة. وتحتاج عمليات الترقيع إلى دقة عالية في التنفيذ وإلا فإنها تتحول إلى عيوب أخرى بحد ذاتها. ولمعالجة الحفر فيلزم إزالة المواد السطحية المتفتتة ثم الحفر حتى الوصول إلى أرضية

صلبة وقد يستلزم إزالة شيء من الأرض الطبيعية ويجب أن يشمل الحفر حوالي ٣٠ سم من الإسفلت الجيد المحيط بالحفرة. ثم يتم رش جوانب الحفرة بطبقة رقيقة من الإسفلت السائل وبعدها تملأ الحفرة بخلطة إسفلتية ساخنة وكثيفة تدرج الحصمة وتدمك دمكًا جيدًا إلى نفس مستوى سطح الطريق المجاور للحفرة. الشكل (١٠- ١٢) يبين خطوات ترقيع الحفر.



شكل (١٠- ١٢): خطوات ترقيع الحفر العميقة.

٢. **صيانة التشققات**: إذا كانت التشققات سطحية فيتم ملؤها بإسفلت سائل كما هو مبين في الشكل (١٠- ١٣). أما بالنسبة للتشققات التي تكون بكامل القطاع الإنشائي فتجب إزالتها حتى الوصول إلى التربة الحاملة ثم ملؤها بخلطة إسفلتية ودمكها كما هو موضح في الشكل (١٠- ١٤).

شكل (١٠- ١٣): صيانة التشققات السطحية.

شكل (١٠- ١٤): خطوات صيانة التشققات العميقة.

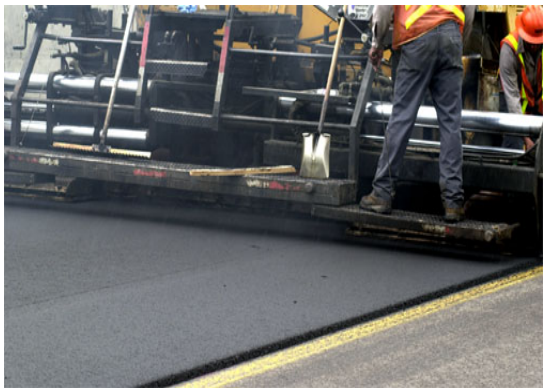
٣. **صيانة التخدد**: يتم إصلاح التخدد بمساواة السطح بملء القنوات بخليط إسفلت ساخن إذا لم يكن هناك زحف جانبي، ومن ثم تغطية السطح بطبقة إسفلتية إضافية خفيفة. أما إذا كان السبب هو الحركة الجانبية للطبقة الإسفلتية فإنه تجب إزالتها وإعادة إنشائها.

٤. **صيانة الزحف**: عند حدوث زحف في السطح فإن العلاج الناجح هو كشط المساحة التي حدث فيها الزحف ومن ثم فرش طبقة إسفلتية ساخنة كسطح جديدة.

٥. **صيانة طفح الإسفلت**: يتم إصلاح طفح الإسفلت برش سطح الطريق بطبقة من الحصمة الناعمة الساخنة ودمكها لامتصاص الكميات الزائدة من الإسفلت.

٦. **وضع طبقة إصلاح**: تعرف هذه العملية بوضع طبقة عزل فردية، حيث يتم رش طبقة من الإسفلت السائل على سطح الطريق ثم ترش حصمة ذات تدرج محدود وتدمك هذه الطبقة بواسطة الرصاصات. وتستخدم هذه العملية لزيادة قوة تحمل سطح الطريق، ولمعالجة تآكل وتطاير مواد ولمنع تسرب الماء من خلال السطح.

٧. **وضع طبقة سطح جديدة**: توضع طبقة سطح جديدة على سطح موجود لتقويته كما هو موضح في الشكل (١٠- ١٥). فمع زيادة حجم المرور وزيادة الأحمال الواقعة على الطريق يصبح الرصف الموجود لا يتحمل الإجهادات الإضافية الواقعة عليه وبذلك يتطلب تقويته بإضافة طبقة جديدة على السطح. وفي بعض الأحيان قد يتآكل الرصف الموجود ويصبح في حالة تدهور كامل وفي هذه الحالات يفضل إزالة هذا القطاع كلياً وإعادة إنشائه من جديد حسب المعطيات الجديدة. وقبل وضع الطبقة الفوقية الجديدة يجب تصميمها بدقة وذلك بتصميم الرصفة الموجودة مع قياس قوة الطبقات وتحديد قوة القاعدة الترابية و إيجاد نسبة تحمل كاليفورنيا، ثم يتم عمل تصميم جديد لتحديد سمك الطبقات المطلوبة إضافتها.



شكل (١٠- ١٥): وضع طبقة سطح جديدة.

١٠- ٦- عيوب سطح الرصف الخرساني والأسلوب المثالي لصيانته

تحتاج الطرق الخرسانية إلى عمليات صيانة قليلة إذا ما تم تصميمها وإنشاؤها بطريقة جيدة. وتعتبر الشروخ من العيوب الرئيسة لهذا النوع من الرصف حيث إنها تؤدي إلى كسر البلاطات إذا لم يتم علاجها في أسرع وقت. كذلك تعتبر الفواصل من أضعف المواقع بالرصف الخرساني حيث تظهر معظم العيوب عندها أو بالقرب منها. وتتمثل أغلب أنشطة صيانة الرصف الخرساني بالأعمال التالية:

١. صيانة الشروخ: يتم تنظيف هذه الشروخ من الأتربة واي مواد سائبة ثم تملأ بالبيتومين السائل إلى حوالي ٣ مم أعلى من السطح وتفرش فوقها طبقة من الرمل بعد ذلك.

٢. صيانة الفواصل: يجب التأكد في جميع الأوقات من أن الفواصل مملوءة بمادة قابلة للانضغاط ومختومة وفي حالة عدم صلاحيتها يجب تغييرها في الحال.

استلام مشاريع الطرق حسب المواصفات السعودية

١١- ١ الأسس الفنية للاستلام

تتطلب عملية استلام مشاريع الطرق عدة اشتراطات ومواصفات قياسية يجب توفرها في جميع المواد المستخدمة وفي طرق الإنشاء المختلفة. وينصح بعمل فحص واستلام للمواد الموردة للموقع قبل استخدامها وتصدر بها شهادة مماثلة تبين مدى مطابقتها للمواصفات والعينات السابق اعتمادها. ويجب اجراء الاختبارات اللازمة للمواد والأعمال في المراحل المختلفة للمشروع كما هو مبين في العقد أو المواصفات وفي حالة عدم وضوح الاختبارات اللازمة ينصح بالرجوع إلى المواصفات السعودية العامة لتنفيذ مشاريع الطرق. وعلى المهندس المشرف أن يكون على دراية كافية بالأساليب والطرق التي تستخدم للحكم على المواد والعينات الموردة للموقع وعلى مختلف مراحل الأعمال المنفذة والتي يمكن تلخيصها فيما يلي:

<u>الإجراءات المطلوبة لاعتماد العينات والمواد</u>:

١. يقدم المقاول إلى الجهاز الميداني المشرف طلب الاعتماد مشتملا على المستندات التالية:

- خطاب التقديم لطلب الاعتماد برقم وتاريخ.
- تعبئة استمارة طلب الاعتماد.
- صور لجزء المواصفات من المستندات.
- الحسابات والشهادات والتقارير المطلوبة.
- عينات من المواد المطلوبة اعتمادها.

٢. يقوم الجهاز الميداني المشرف المعني بفحص العينة المقدمة والمستندات المرفقة بها ويتأكد من مطابقتها للمواصفات والنظم وكونها جاهزة ومتكاملة للاعتماد ويدعو لاجتماع يضم كل المعنيين باعتماد العينة (المقاول، والجهاز الميداني المشرف، والمختصين من الجهاز المركزي).

٣. يقوم المعنيون بالاعتماد بمراجعة المستندات وفحص العينات والتأكد من أنها مطابقة للمواصفات ومناسبة للمشروع ويتم بعدها الاتفاق على اتخاذ أحد الإجراءات الأربعة التالية:

- الرمز (أ): تعتمد العينة كما قدمت ولا توجد عليها أي تحفظات.
- الرمز (ب): تعتمد العينة مع مراعاة الملاحظات التي تم ابداؤها في نموذج الملاحظات.

- الرمز (ج): تعتمد العينة مع مراعاة الملاحظات التي تم اعتمادها في نموذج الملاحظات ولابد من إعادة تقديم العينة من جديد للحصول على الموافقة النهائية.
- الرمز (د): العينة غير معتمدة للأسباب والتحفظات الواردة في نموذج الملاحظات.

٤. في حالة وجود اختلاف بين أعضاء فريق الاعتماد يرفع الأمر إلى الجهة المركزية الفنية للإشراف أو إلى جهة حيادية أخرى للبت في الأمر.

٥. يجب ألاّ تزيد المدة التي تستغرقها كل الإجراءات السابقة عن عشرة أيام في المتوسط.

الإجراءات المطلوبة لاستلام الأعمال المنفذة:

١. تقوم الأطراف المعنية المختلفة بالإجراءات التالية عند استلام الأعمال المنفذة واعتمادها:

٢. يرسل المقاول طلبا لتفتيش الأعمال إلى الجهاز الميداني المشرف.

٣. يصدر الجهاز الميداني المشرف شهادة التفتيش بعد فحص الأعمال المحددة فيما يتعلق بمدى مطابقتها للمخططات التنفيذية المعتمدة وعينات المواد المعتمدة والمواصفات. وعلى المهندس التأكد من أن الأعمال قد تمت طبقا لمتطلبات العقد ومستنداته.

٤. يختار المهندسون المعتمدون أحد الإجراءات الأربعة التالية عند اعتماد الأعمال واستلامها:

- الرمز (أ): تعتمد الأعمال كما تم تنفيذها.
- الرمز (ب): تعتمد مع مراعاة الملاحظات التي أبدت ولا ضرورة لإعادة الاستلام.
- الرمز (ج): تعتمد باستثناء الأعمال التي أبدت حولها ملاحظات و يجب الوقوف عليها ومعاينتها واستلامها من جديد.
- الرمز (د): لا تعتمد الأعمال للأسباب المبينة في نموذج الملاحظات.

الأسس الفنية لاستلام أعمال القطع:

١. التحقق من تنظيف الموقع من المخلفات والأعشاب وأي مواد لا تحتاج إليها عملية الإنشاء.

٢. التأكد من ناتج القطع، فإن كانت التربة صالحة للردم طبقاً للمواصفات فتستعمل في الردم.

٣. عند الوصول بالقطع إلى المناسيب المطلوبة يتم التحقق من صلاحية التربة الأصلية كطبقة قاعدة وذلك بإجراء الاختبارات التالية: التدرج.الحبيبي، حدود أتربرج، نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) حسب المواصفات القياسية.

٤. في حالة صلاحيتها تترك حتى يتم تجهيزها كطبقة قاعدة.

٥. وفي حالة عدم صلاحيتها فإما أن تحسن خواصها أو تستبدل بها تربة أخرى صالحة.

٦. التحقق من مناسيب طبقة القاعدة.

٧. التحقق من استواء سطح طبقة القاعدة.

٨. التحقق من نسبة الدمك ومحتوى الرطوبة لطبقة القاعدة في الموقع بإجراء اختبار الكثافة الحقلية وتنسيبها إلى أقصى كثافة جافة حسب تجربة بروكتور على نفس المواد.

<u>الأسس الفنية لإستلام أعمال الردم:</u>

١. التحقق من إتمام عملية الردم على طبقات حسب المواصفات .

٢. يردم المتر الأول أسفل منسوب سطح طبقة القاعدة على طبقات لا تزيد عن ٢٠ سم، وإذا كان العمق أكثر من واحد متر يتم الردم على طبقات لا تزيد عن ٣٠ سم، وذلك بعد الرش بالماء ثم الدمك بالهراسات.

٣. لا يسمح باستعمال الأحجار ذات الأحجام التي تزيد عن نصف سمك طبقة الردم.

٤. التحقق من تصنيف تربة الردم طبقاً للمواصفات.

٥. التحقق من مناسيب كل طبقة مساحياً.

٦. التحقق من نسبة الدمك ومحتوى الرطوبة بإجراء اختبار الكثافة الحقلية وتنسيبها إلى أقصى كثافة جافة حسب تجربة بروكتور.

الأسس الفنية لاستلام أعمال طبقة ما تحت الأساس:

١. التحقق من مطابقة مواد طبقة ما تحت الأساس الموردة للمواصفات والشروط ويتم ذلك بإجراء الاختبارات التالية: التدرج الحبيبي، وحدود أتربرج، ومقاومة التآكل، والمكافئ الرملي، ونسبة تحمل كاليفورنيا، وفحص الأصالة، وبروكتور.

٢. التحقق من عملية فرش الطبقة ورشها بالمياه والخلط والتقليب.

٣. التحقق من منسوب الطبقة خط المحور مساحياً.

٤. التحقق من استواء سطح الطبقة في الاتجاهين الطولي والعرضي .

٥. التحقق من نسبة الدمك ومحتوى الرطوبة بإجراء اختبار الكثافة الحقلي.

الأسس الفنية لاستلام أعمال طبقة اللصق بين طبقات الردم والطبقة الإسفلتية:

١. التأكد التام من نظافة وتماسك تربة السطح لطبقة ما تحت الأساس.

٢. التأكد التام من جفاف سطح طبقة ما تحت الأساس .

٣. التأكد من درجة حرارة المادة الإسفلتية السائلة قبل الرش حسب المواصفات.

٤. التأكد من رش طبقة لصق بيتومينية بمعدل (٠,٦٥ - ١,٧٥) لتر/ م^{٢}.

٥. التحقق من انتظام الرش طبقاً للمعدل المطلوب.

٦. في حالة وجود أماكن بها زيادة تتم معالجتها قبل فرش المخلوط الإسفلتي، وذلك بوضع كمية من الرمل عليها وتقليبها لأخذ الإسفلت الزائد ثم رفعها بعيداً عن الطريق.

الأسس الفنية لاستلام أعمال طبقة الأساس الإسفلتي:

١. التأكد من مطابقة الركام في الخلاطة للمواصفات ومراقبة الاختبارات: التدرج، ومعامل اللدونة للمواد الناعمة، والمكافئ الرملي، ومقاومة التآكل وفحص الأصالة.

٢. التأكد من جود الخلطة الإسفلتية بمراقبة تجربة مارشال والتحقق من: التدرج، ونسبة الإسفلت، والثبات، والتدفق، ونسبة الفراغات الهوائية والفراغات المملوءة.

٣. التأكد من جفاف طبقة التشرب البيتومينى

٤. التأكد من تنظيف سطح الطبقة اللاصقة باستعمال ضواغط الهواء .

٥. التأكد من درجة حرارة المخلوط الإسفلتي (١٣٩ – ١٦٣ درجة مئوية) ولونه ولون الأبخرة المتصاعدة. فاللون الأزرق للخلطة يعني زيادة تسخين الخلطة، ولون الأبخرة المتصاعدة المائل للحمرة يعني تجاوز الخلطة للحرارة المطلوبة واحتراقها.

٦. التأكد من عملية خلط الإسفلت وتجانسه قبل الفرش.

٧. أخذ عينات بصفة دورية من الخلطة خلف الفرادة لإجراء اختبار والتحقق من مطابقة نتائج الاختبارات للمواصفات .

٨. مراقبة عملية فرش الخلطة الإسفلتية والتأكد من سمك الطبقة بزيادته (١٥ – ٢٠ ٪) قبل الدمك .

٩. عدم فرش المخلوط الإسفلتي أثناء الأمطار.

١٠. التأكد من أن الفواصل الإنشائية عمودية على سطح الطريق وبكامل عمق الطبقة.

١١. التأكد من رش الفواصل الإنشائية بطبقة لصق قبل فرش الخلطة الجديدة.

١٢. في حالة فرش المخلوط الإسفلتي في أكثر من طبقة فلا يتم الإذن بفرش الطبقة اللاحقة إلا بعد إتمام دمك وبرودة الطبقة السابقة.

١٣. مراقبة عملية الدمك بالمداحل الحديدية والمطاطية، والتأكد من سرعة المدحلة وعدم تجاوزها للمواصفات، والتأكد من المعدات والآليات ومدى ملاءمتها.

١٤. التحقق من نسبة الدمك وسمك الطبقة بإجراء اختبار القلب الإسفلتي.

١٥. التأكد من المناسيب واستواء السطح بعد الدمك.

<u>الأسس الفنية لاستلام طبقة اللصق الإسفلتية بين الطبقات الإسفلتية</u>:

١. التأكد من نظافة سطح الطبقة الإسفلتية الأساسية.

٢. التأكد من درجة حرارة المادة الإسفلتية السائلة قبل الرش.

٣. عدم فرش المخلوط الإسفلتي أثناء الأمطار.

٤. التأكد من انتظام الرش طبقاً للمعدل المطلوب على ألايزيد عن ٠,٢٥ لتر/ م^{٢}.

الأسس الفنية لاستلام طبقة الرصف السطحية:

١. اعتماد المواد الصلبة (الحصوية والرمل والبودرة) وذلك بمراقبة نتائج الاختبارات: التدرج الحبيبي، ومعامل اللدونة، ومقاومة التآكل، والمكافئ الرملي، وفحص الأصالة.

٢. مراقبة تجربة مارشال على الخلطة الإسفلتية والتحقق من: التدرج، ونسبة الإسفلت، والثبات، والتدفق، ونسبة الفراغات.

٣. التأكد من درجة حرارة المخلوط الإسفلتي (١٣٩ – ١٦٣ درجة مئوية).

٤. التأكد من عملية خلط الإسفلت وتجانسه قبل الفرش .

٥. أخذ عينات بصفة دورية من الخلطة الإسفلتية خلف الفرادة لإجراء اختبار الاستخلاص.

٦. مراقبة عملية فرش الخلطة الإسفلتية والتأكد من سمك الطبقة بزيادته حوالي (١٥ - ٢٠٪) قبل الدمك.

٧. عدم فرش المخلوط الإسفلتي أثناء الأمطار.

٨. مراقبة عملية الدمك بالمداحل الحديدية والمطاطية، والتأكد من المعدات والآليات ومدى ملاءمتها، وترتيب دخولها على الطبقة.

٩. التأكد من عدم تجاوز سماكة الطبقة ٥ سم بعد الدمك.

١٠. التحقق من نسبة الدمك وسمك الطبقة بإجراء اختبار القلب الإسفلتي، ويجب ألا تقل عن٩٥ ٪ من الكثافة النظرية القصوى.

١١. التأكد من أن الفواصل الإنشائية عمودية على سطح الطريق وبكامل عمق الطبقة. ويجب التأكد من رش الفواصل بطبقة لاصقة قبل فرش الخلطة الجديدة. ويتم دحل الفواصل الطولية مباشرة بعد فرش الخرسانة الإسفلتية.

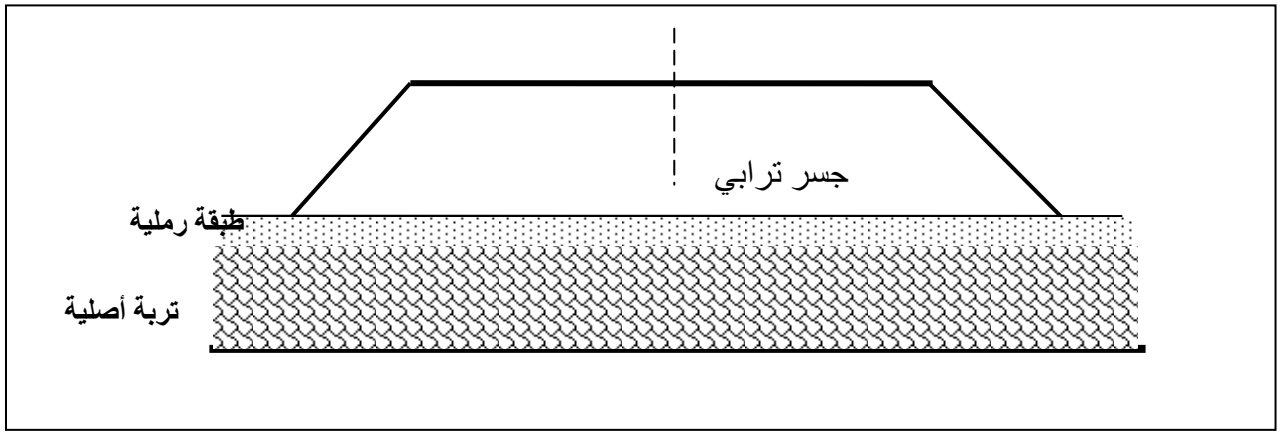
١٢. مراجعة واستلام المناسيب واستواء السطح طولياً وعرضياً بعد الدمك.

١٣. التأكد من نعومة الطبقة السطحية بعد إنهاء عملية الدمك النهائية.

١٤. التحقق من الميول العرضية للسطح النهائي على ألا يزيد عن ٣٪ ولا يقل عن ٢٪ في حالة الطرق ذات الميول المستقيمة.

١١- ٢ أعمال الأتربة لجسر الطريق

يمكن تعريف الجسور على أنها تلك القطاعات التي تتكون من تربة الردم لرفع مستواها إلى منسوب الأساس، كما هو موضح في الشكل (١١- ١). وتنشأ الجسور عموما من مادة الردم المحصل عليها من عملية الحفر في المناطق السابقة أو من التربة المنقولة من مواقع أخرى. ولضمان ثبات واستقرار الجسر يشترط في مادة الردم أن تتمتع بقوة تماسك وقوة احتكاك بين حبيباتها وبقلة قابليتها للانضغاط. ولكي يتحقق ذلك يجب إنشاء الجسر على طبقات رقيقة نسبيا يتم دمك كل واحدة منها دمكاً جيداً عند نسبة الرطوبة المثالية للحصول على درجة عالية من التجانس ومن الكثافة القصوى للتربة مما يحقق ثبات الجسر وعدم تعرضه للانزلاق.



شكل (١١- ١): نموذج لقطاع عرضي لجسر وقطع.

وتشمل عملية إنشاء الجسور الخطوات التالية:

١. إعداد الموقع وتنظيفه من المخلفات والنباتات والأشجار وإزالة كل المنشآت الموجودة بأرض الموقع.

٢. معالجة الطبقات الرخوة من التربة بإنشاء مصارف رملية رأسية وفرش طبقة أفقية من الرمل بسمك بين ٣٠ و٦٠ سم كما هو موضح في الشكل (١١- ٢).

٣. وضع مواد الردم في مكانها بالجسر بالعربات (القلابة او الجريد او البولدوزر) وفرشها بالجريدر.

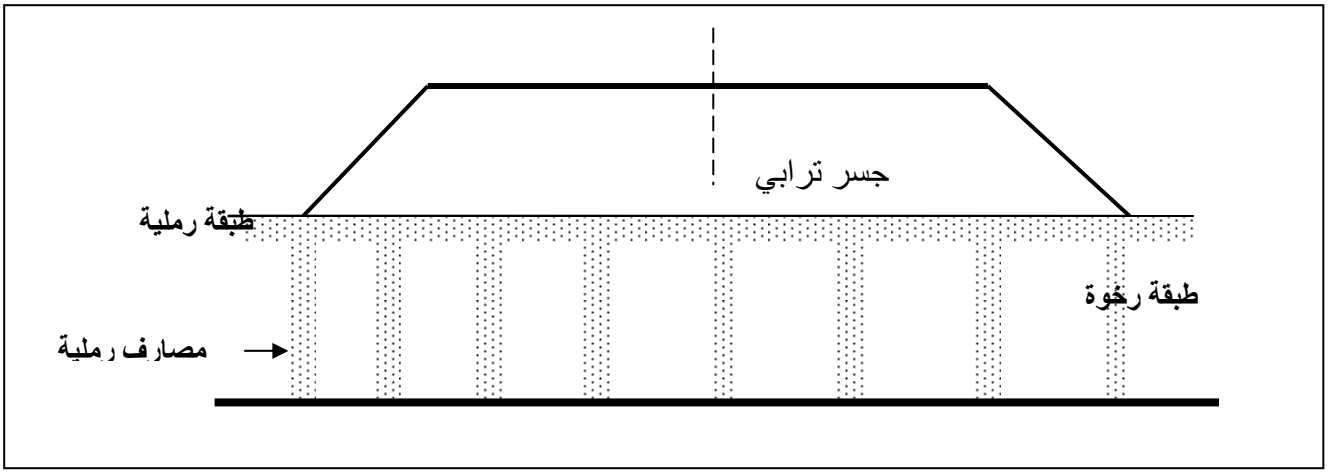
٤. فرش مواد الردم في طبقات أفقية رفيعة يتراوح سمكها بين ١٥ و ٢٠ سم بحيث يصل سمكها بعد الدمك إلى حوالي ١٠ سم .

٥. رش كل طبقة من التربة المفروشة بالماء ثم دمكها بطريقة الضغط أو الهز. ويراعى أن تكون النسبة المئوية للرطوبة بمواد الردم مطابقة للنسبة الأصولية المتحصل عليها في اختبار بروكتور.

٦. تسوية الميول الجانبية للجسر حسب المواصفات. ويتوقف ذلك على الخواص الهندسية لمواد الردم المنشأ منها ويمكن أخذها ٢:٣ (أفقي : رأسي) بالنسبة للجسور التي يصل ارتفاعها إلى ٦ أمتار.

٧. تسوية السطح العلوي للجسر وإعطاؤه الميول العرضية المناسبة حسب المواصفات.

٨. معالجة الأخاديد التي تتركها المعدات الكبيرة المستخدمة في إنشاء الجسر بردمها على طبقات رقيقة ودمكها بمعدات.



شكل (١١- ٢): معالجة طبقة رخوية لجسر ترابي.

ولاستلام مواد وأعمال الأتربة لجسر الطريق يجب القيام بالاختبارات والقياسات اللازمة والتأكد من مطابقة النتائج للمواصفات التالية:

١. التحقق من تصنيف تربة الردم طبقاً للمواصفات ويشترط أن تتمتع بقوة تماسك وقوة احتكاك بين حبيباتها وبقلة قابليتها للانضغاط، ويتم ذلك بمراقبة الاختبارات التالية: التدرج الحبيبي، حدود أتربرج، ومعامل اللدونة للمواد الناعمة، والانضغاط، والقص.

٢. التأكد من دمك الطبقات العليا من الجسر بدرجة كافية لا تقل عن ٩٥ ٪ تصل معها نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) إلى ما يزيد عن ٢٥ ٪.

٣. التأكد من مطابقة الميول الجانبية للجسر للمواصفات القياسية وتأخذ ٢:٣ للجسور التي يصل ارتفاعها إلى ٦ أمتار.

٤. يجب عدم حدوث انحرافات للسطح العلوي للجسر فوق الارتفاع التصميمي يؤدي إلى نقص في السمك لأية طبقة تالية. ويجب ألاّ يتجاوز التفاوت المسموح به ٤ سم.

٥. التأكد من إعطاء السطح العلوي للجسر الميول العرضية المناسبة لتصريف ما يسقط عليه من أمطار بسهولة وهي تعتبر ميول كبيرة نسبيا وفي حدود من ٤- ٥ ٪.

١١- ٣ طبقة ما تحت الأساس والأساس

لاستلام مواد وأعمال طبقة ما تحت الأساس وطبقة الأساس يجب القيام بجميع الاختبارات اللازمة على المواد المستخدمة والتأكد من جودتها حسب المواصفات القياسية السعودية وكذلك القيام بجميع القياسات اللازمة لاعتماد الأعمال المنفذة. ويجب على المهندس المشرف أن يكون على دراية كافية بالمواصفات السعودية للحكم على المواد الموردة للموقع وعلى جودة الأعمال. ويمكن تلخيص المواصفات الواجب توفرها في المواد والأعمال في التالي:

١١- ٣- ١ التدرج

يجب أن تتألف المواد المستخدمة في طبقة الأساس وطبقة ما تحت الأساس من حبيبات متينة وقوية التحمل وخالية من المواد المتحللة، والمواد العضوية، والمواد الضارة الأخرى وكلما زاد الترابط والاحتكاك بين حبيباتها كلما زادت قوة تحملها ومقدرتها على توزيع الأثقال. ولكي يتحقق هذا بشكل جيد يجب مراعاة المواصفات التالية في هذه المواد:

١. يجب أن تحتوي على تدرج حبيبي جيد لضمان ثباتها واستقرارها.

٢. يجب ألاّ تزيد نسبة المار من المنخل رقم ٢٠٠ على ١٠ ٪.

٣. يجب ألاّ تزيد نسبة الركام المسطح والرقيق عن ١٠ ٪.

٤. يجب أن يكون المكافئ الرملي ٣٠ كحد أدنى.

١١- ٣- ٢نسبة الدمك

يجب أن تتم عملية الدمك لكل طبقة بالمعدات والآليات المنصوص عليها وتجب مراعاة سمك الطبقة المدموكة ونسبة الرطوبة وسرعة الهراس. ويبدأ الدمك من الحافة ذهاباً وإياباً حتى ينهي الدمك تماماً لهذا الجزء ثم ينتقل الهراس تدريجياً جهة محور الطريق ويستمر الدمك لكامل القطاع. وبعد الانتهاء من دمك الطبقة يجب التحقق من نسبة الدمك ومحتوى الرطوبة للطبقة بإجراء اختبارات الكثافة الحقلية وتنسيبها إلى أقصى كثافة جافة حسب تجربة بروكتور على نفس المواد. وتوصي المواصفات السعودية على ألاّ تقل نسبة الدمك لطبقة الأساس وطبقة ما تحت الأساس عن ٩٥ ٪.

١١- ٣- ٣اللدونة والبري

يجب أن تكون نسبة المواد الناعمة والمواد اللينة قليلة في المواد المستخدمة في طبقة الأساس وطبقة ما تحت الأساس. وتوصي المواصفات القياسية بالتالي:

١. ألاّ يزيد معامل اللدونة للمواد المستخدمة في طبقة الأساس وطبقة ما تحت الأساس عن ٦٪.
٢. ألاّ تتجاوز نسبة التآكل للحبيبات عن ٤٠ ٪ بالنسبة لطبقة الأساس وعن ٥٠ ٪ بالنسبة لطبقة ما تحت الأساس.

١١- ٣- ٤نسبة تحمل كاليفورنيا

للتحقق من جودة الركام المستخدم في طبقة الأساس وطبقة ما تحت الأساس يتم إجراء اختبار نسبة تحمل كاليفورنيا على عينات من الركام المورد ومقارنة النتائج للمواصفات القياسية التي توصي بالتالي:

١. يجب ألاّ تقل نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) للمواد المستخدمة في طبقة الأساس عن ٨٠ ٪.
٢. يجب ألاّ تقل نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) لمواد طبقة ما تحت الأساس عن ٥٠ ٪.

١١- ٣- ٥استواء سطح الطبقات

بعد الانتهاء من عملية الدمك يجب التحقق من استواء سطح الطبقة ويتم ذلك باختبار المقطع العرضي لسطح الطبقة على مسافات مقدارها ٢٥ متر وعند نقاط متوسطة وقياس الانحرافات. وتجب مراعاة ما يلي:

١. بالنسبة لطبقة ما تحت الأساس: يجب ألاّ يزيد الانحراف في ارتفاع السطح فوق الارتفاع التصميمي عن ٢٠ مم وألاّ يتجاوز الانحراف بالنقص عن مستوى الارتفاع التصميمي عن ٣٠ مم.

٢. بالنسبة لطبقة الأساس: يجب ألاّ ينحرف السطح المنتهي لطبقة الأساس عن قدة الاستقامة بين أي نقطتين من نقاط التلامس بأكثر من ١٥ مم.

١١- ٤ الطبقات الإسفلتية

للحصول على خدمة جيدة من الرصف البيتوميني خلال عمره الكامل تجب مراعاة المواصفات التالية في المواد المستخدمة:

١. يجب أن تتألف جميع أنواع الحصمة من حبيبات أو قطع متينة وقوية التحمل وخالية من المواد المتحللة، والمواد العضوية، والمواد الضارة الأخرى.

٢. يجب أن تتكون الحصمة الخشنة من الحجارة المكسرة المحتجزة على المنخل رقم (٤).

٣. يجب ألاّ تشمل الحصمة على أكثر من ١٠ ٪ من القطع الرقيقة والمستطيلة، والتي يزيد حجمها الأقصى عن ٥ أضعاف الحجم الأدنى.

٤. يجب ألاّ تشمل الحصمة على ١ ٪ من وزنها من القطع التي تقل كثافتها النوعية عن ١,٩٥.

٥. يراعى أن يكون ٥٥ ٪ من الحصمة الخشنة لها على الأقل وجه واحد مكسر.

٦. يجب ألاّ تزيد نسبة التآكل للركام حسب تجربة لوس انجلوس عن ٤٠ ٪.

٧. يجب ألاّ تزيد درجة الصلابة للحصمة عن ٣٠ ٪ كحد أقصى.

٨. يجب أن تتألف الحصمة الناعمة من الجزء الذي يمر من منخل رقم (٤) ويمكن إنتاجها من تكسير الصخر أو من رواسب الحصى أو من الرمل المصنع.

٩. يجب أن تتألف الحصمة الناعمة الإضافية من مواد الحشوة المعدنية المارة من منخل رقم (٣٠)، بما في ذلك الغبار الذي يتم الحصول عليه من جهاز تجميع الغبار.

١٠. يجب اختيار البيتومين المناسب حسب نوعية العمل وتكون درجة غرزه ٤٠/٣٠ أو ٧٠/٦٠ أو ١٠٠/٨٠. وتتوقف النسبة الملائمة لمادة البيتومين على المعادلة التصميمية للخلطة المحددة وتكون ما بين ٤ – ٧ ٪.

١١- ٤- ١ استواء السطح

عند اختبار السطح المنتهي للطبقة الإسفلتية بقدة استقامة طولها ٤ أمتار يجب ألا يزيد الاختلاف في الطبقة السطحية مقاسة من أسفل القدة المستقيمة إلى سطح الرصيف عن ٣,٠ مم لكل ٣ م باتجاه مواز

لمحور الرصف ولا يزيد عن ٦ مم لكل ٣ م بالاتجاه المتعامد مع محور الرصف. ويجب التحقق من الميول العرضية للسطح النهائي على ألا تزيد عن ٣٪ ولا تقل عن ٢٪ في حالة الطرق ذات الميول المستقيمة.

١١- ٤- ٢ نسبة الدمك

لمراقبة عملية الدمك يجب إجراء تجربة الكثافة الفعلية لمادة الرصف لكل ١٠٠٠ م^{٢} من السطح المرصوف من ٥ أماكن عشوائية على الأقل داخل هذه المساحة. وبعدها تتم مقارنة نتائج اختبارات الكثافة الحقلية بالكثافة التي أمكن الحصول عليها بالمعمل ويجب ألاّ تقل النسبة بينهما عن ٩٥ ٪.

١١- ٤- ٣ نسبة مكونات المخلوط الإسفلتي

قبل الشروع في إنشاء أي طبقة إسفلتية يجب على المقاول إجراء جميع الاختبارات المطلوبة لتحديد نسب مكونات المخلوط الإسفلتي وتقديم معادلة خليط العمل مع المعلومات التالية:

١. البيانات المتعلقة بمصدر الحصمة والاختبارات بالتدرج والمواصفات الأخرى.

٢. نوع وصنف المادة البتومينية التي يراد استعمالها.

٣. جميع نتائج اختبار الخلطات التجريبية.

٤. نوع وموقع الخلاطة المراد استعمالها في إعداد كل خلطة يراد تقديمها.

٥. تاريخ بداية إنتاج الخلطة الإسفلتية.

يجب على المهندس مراجعة معادلة الخلطة الإسفلتية ليقرر ما إذا كانت تشتمل على كافة المحتويات والنسب المطلوبة. وإذا كانت لا تحتوي على جميع المعلومات المطلوبة، فيجب أن تعاد خلال ٧ أيام إلى المقاول لاتخاذ المزيد من الإجراءات قبل إعادة تقديمها. وعندما يقتنع المهندس بأن معادلة الخلطة المقترحة مطابقة لكافة متطلبات المواصفات والشروط، يجب عليه أن يأمر المقاول بإنشاء منطقة تجريبية في الموقع لإجراء تقييماً عليها من حيث التنظيم وللخلطة من حيث مطابقتها لمعادلة خليط العمل التي جرى اختبارها في المختبر. وعند الشروع في إنشاء الطبقة يجب تحديد محتوى المادة البيتومينية بواسطة الاستخلاص من ٣ عينات يتم اختيارها بطريقة عشوائية لكل مساحة وتؤخذ من الطريق بعد الانتهاء من كل عمليات الخلط وقبل إجراء الدمك. ويجب ألاّ يختلف متوسط محتوى المادة البيتومينية عن المحتوى المحدد في خلطة العمل المعتمدة بأكثر من زائد أو ناقص ١ ٪.

١١- ٤- ٤ سمك الطبقة

يجب أن تقاس سماكة كل مساحة كاملة ومدموكة من ٥ ثقوب اختبارية على الأقل تؤخذ من خمس أماكن عشوائية لكل ١٠٠٠ م^{٢} (أو لكل ٢٠٠ م طولي). ويتم تحديد سماكة كل ثقب، ويعتبر متوسط سماكات الحفر الاختبارية هو سماكة طبقة الرصف الإسفلتية. ويجب قبول المساحة المنفذة عندما يكون متوسط السماكة الكلية لا يقل عن السماكة المحددة في المخططات.

١١- ٥ صرف المياه من الطرق

يجب التخلص من المياه السطحية من على الطريق المرصوف والاكتاف بدون إعطائها الفرصة للتغلغل داخل قطاع الرصف. ويتم ذلك بعمل ميول عرضية كافية حسب المواصفات القياسية ويجب أن يكون قطاع المصارف الجانبية المكشوفة ذات سعة وانحدار طولي مناسبين لصرف المياه المتجمعة. وفي الطرق الخلوية فإن المياه تسيل عرضيا من على الرصف إلى الأكتاف قبل وصولها إلى المصارف الطولية. ولذلك يجب أن تميل هذه الأكتاف عرضيا بميل مناسب لسرعة التخلص من المياه ومنع تجمعها على الأكتاف. وتعمل المصارف الطولية مكشوفة وعلى شكل شبه منحرف. وفي حالة الجسور تعمل المصارف الطولية بعيدا بقدر الإمكان عن قدمة الميل وعلى أحد جانبي الطريق وفي بعض الأحيان على الجانبين وفي حالة القطوع يلزم عمل مصارف طولية على الجانبين. وأما المياه المتسربة أو المياه الأرضية فيجب صرفها بمصارف مغطاة حتى تكون بعيدة عن قطاع الرصف، كما يجب عمل احتياطات خاصة في مناطق السيول أو الفيضانات. وفي كل الحالات يجب على المهندس التأكد من مطابقة المصارف والميول العرضية اللازمة لمخططات المشروع وللمواصفات القياسية.

اختبارات تقييم الإسفلت

تجربة الاختراق أو الغرز للبيتومين

Penetration Test of Bitumen

الغرض من التجربة:

تجرى هذه التجربة لمعرفة قوام المادة البيتومينية المطلوب استعمالها في الرصف ويستخدم فيها جهاز الغرز وإبرة قياسية. ويعرف مقدار الغرز على أنه المسافة التي تتحركها الإبرة مخترقة عمودياً عينة من المادة البيتومينية تحت ثقل معين وفي زمن معين وتحت درجة حرارة معينة. وعادة ما يكون الوزن فوق الإبرة ١٠٠ جرام والزمن ٥ ثوان ودرجة الحرارة ٢٥ درجة مئوية ويقاس مقدار الغرز بعشر المليمتر. وتعتبر تجربة الغرز من أهم التجارب في مجال الرصف لتحديد درجة صلابة وقوام المواد البيتومينية وتعرف المادة بدرجة غرزها، فمثلا بتيومين ٣٠/٢٠ أي درجة غرزه تتراوح بين ٢٠ و ٣٠. ويستعمل الإسفلت اللين ذو درجة غرز عالية في البلدان الباردة حتى لا يتشقق بفعل البرودة بينما يستعمل الإسفلت الصلب ذو درجة غرز منخفضة في البلدان الحارة حتى لا يصبح سائلاً تحت عجلات المركبات.

الأدوات المستخدمة:

١. جهاز الغرز الموضح في الشكل (١٢- ١).
٢. إبرة.
٣. وعاء.
٤. حمام مائي.
٥. مقاييس لدرجة الحرارة.
٦. أداة توقيت.

شكل (١٢- ١): جهاز الغرز.

خطوات التجربة:

١. يتم تسخين العينة مع الحرص على عدم تعرضها لتسخين موضعي عالٍ حتى تصبح سائلة.

٢. تصب العينة في الوعاء بحيث يكون عمقها بعد تبريدها إلى درجة حرارة الاختبار يزيد بـ ١٠ مم على الأقل عن العمق المتوقع لاختراق الإبرة.

٣. تتم تغطية العينة لحمايتها من الغبار ثم تترك للتبريد عند درجة حرارة الغرفة لمدة لا تقل عن ساعة ونصف.

٤. بعد ذلك يرفع الغطاء على العينة وتوضع لمدة ساعتين في حمام مائي درجة حرارته ٢٥ درجة مئوية.

٥. بعد مضي المدة يتم إخراج العينة ووضعها فوق قاعدة جهاز الغرز ليتم اختبارها.

٦. يوضع وزن مقداره ٥٠ جرام فوق الإبرة ليصبح الحمل الكلي للإبرة وملحقاتها ١٠٠ جرام.

٧. تضبط الإبرة المحملة بالثقل المعين ليتم تلامسها مع سطح العينة.

٨. يسمح للإبرة بالهبوط تحت تأثير وزنها مع القضيب لتخترق العينة لمدة ٥ ثوان وتؤخذ القراءة من على المؤشر.

٩. يجب تسجيل ما لا يقل عن ثلاث قراءات للغرز عند نقاط مختلفة على سطح العينة بحيث لا يقل بعدها عن جدار الوعاء عن ١٠ مم ولا يقل البعد بينهما عن ١٠ مم ويحسب المتوسط ليعبر عن درجة الغرز.

اختبارات تقييم الإسفلت

تجربة الاشتعال أو الاحتراق

Flash Point Test of Bitumen

الغرض من التجربة:

إن المواد البيتومينية قابلة للاشتعال كما أن الأبخرة الخفيفة عند خلطها بالهواء تصبح قابلة للانفجار. فإذا كانت درجة الحرارة المستخدمة عند تشغيل الإسفلت عالية، فيجب اتخاذ الإجراءات الوقائية اللازمة لمنع حدوث الحرائق. وتجرى تجربة الاشتعال لمعرفة درجة الحرارة التي تشتعل عندها الغازات المتصاعدة من المواد البيتومينية وهذا يحدث قبل احتراق المادة نفسها. وإذا كانت درجة اشتعال العينة عالية فإن ذلك يبين أن مادة هذه العينة لا تحترق عند تسخينها إلى درجة السيولة. وأقل درجة اشتعال للبيتومين المستخدم هي ١٧٥ درجة مئوية، وفي العادة تكون درجة حرارة خلط البيتومين حوالي ١٦٢ درجة مئوية وتكون درجة اشتعال المواد البيتومينية في حوالي ٢٣٠ درجة مئوية.

الأدوات المستخدمة:

١. جهاز كليفلاند الموضح في الشكل (١٢- ٢).
٢. لهب الاختبار.
٣. مقاييس لدرجة الحرارة.

شكل (١٢- ٢): جهاز كليفلاند.

خطوات التجربة:

١. يسخن البيتومين لدرجة السيولة ثم يسكب في طبق الاختبار إلى المنسوب المحدد.

٢. توضع العينة في الجهاز فوق مصدر الحرارة ويوضع عليها مقياس درجة الحرارة.

٣. يتم تشغيل الجهاز فتزداد درجة حرارة العينة إلى أن تصل إلى ١٦٠ درجة مئوية وعندها يتم تمرير شعلة اللهب على سطح العينة لمدة ثانية.

٤. تكرر عملية إمرار الشعلة كل ٢,٨ درجة مئوية وتسجل أدنى درجة حرارة يحدث عندها التبخر فوق سطح السائل والذي يبدأ بعده الوميض عند تعرض البخار للهب.

٥. لتحديد نقطة الاشتعال يستمر الاختبار حتى تسبب عملية تعريض اللهب احتراق الزيت ويستمر الاحتراق لمدة ٥ ثوان على الأقل.

٦. تسجل درجة حرارة نقطة الوميض التي يحدث عندها هذا الاستمرار في الاشتعال وتسمى درجة اشتعال البيتومين.

اختبارات تقييم الإسفلت

تجربة تحديد نقطة الطراوة للبيتومين

Softening Point Test of Bitumen

الغرض من التجربة:

الغرض من هذه التجربة هو تعيين نقطة الطراوة للإسفلت في مدى يتراوح من ٣٠ إلى ١٧٥ درجة مئوية باستخدام جهاز الحلقة والكرة في حمام ساخن به محلول الإيثيلين جليكول (Ethylene glycol). فكلما ارتفعت درجة الحرارة ينتقل البيتومين تدريجيا من حالة الصلابة ويصبح أكثر طراوة وأقل لزوجة. وكلما كانت نقطة الطراوة أعلى قلت حساسية البيتومين للحرارة ولذلك تفيد هذه التجربة في مقارنة أنواع الإسفلت المختلفة، وهذا يساعد على تصنيف أنواع البيتومين وتعطينا فكرة عن ميل البيتومين للانسياب عند درجات الحرارة المرتفعة عندما يوضع على الطرق. فالمواد ذات درجة الليونة المنخفضة هي المفضلة لأنها لا تحتاج إلى درجة حرارة عالية عند تسخينها قبل الاستعمال، بينما المواد ذات درجة الليونة الكبيرة مع انخفاض درجة غرزها تكون هشة وغير صالحة للاستعمال في رصف الطرق. وتستعمل المواد ذات درجة الليونة العالية في الأماكن الحارة، وتستعمل المواد التي درجة ليونتها أقل في الأماكن الأقل حرارة.

الأدوات المستخدمة:

١. **جهاز قياس نقطة الطراوة** المبين في الشكل (١٢- ٣).
٢. حلقات من النحاس.
٣. كرة من الصلب بقطر ٩,٥ مم.
٤. دليل مصنوع من النحاس لتحديد المركز للكرة.
٥. حامل الحلقة.
٦. سخان ومقياس درجة الحرارة.

شكل (١٢- ٣): جهاز قياس نقطة الطراوة.

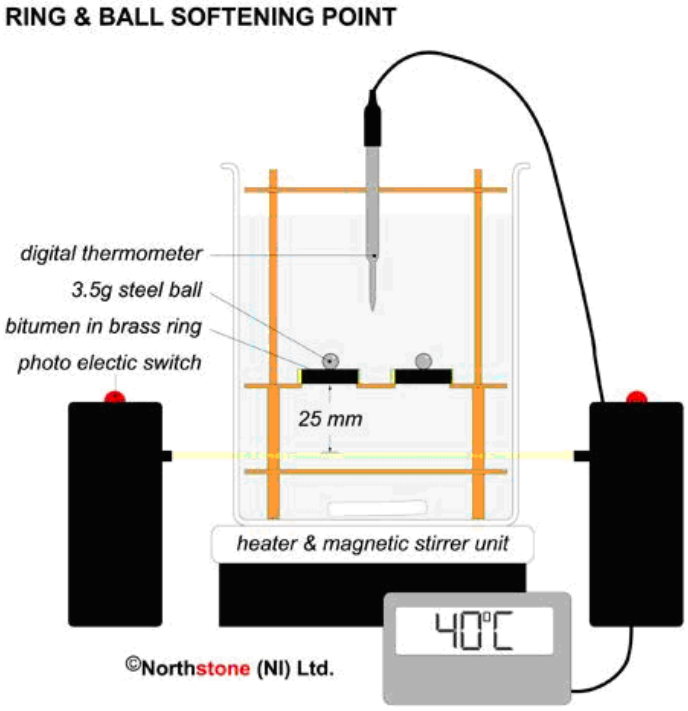
خطوات التجربة:

١. توضع الحلقات الحاوية للعينات فوق القطعة المخصصة لحملها، ويوضع فوقها الحلقات (القطع) التي تبقي الكرة فوق الإسفلت في المركز وتغمر المجموعة في حمام من سائل الإيثيلين جليكول (Ethylene glycol) وبعمق يتراوح بين ١٠٠ – ١٠٨ مم بشكل يبعد أسفل اللوحة السفلى مسافة تتراوح بين ٢٥ – ٣٧ ملم من قاع الوعاء ويوضع ميزان الحرارة في منتصف الوعاء رأسياً حتى يصل إلى مستوى الحلقات دون أن يلامس الحلقات أو اللوحة.

٢. توضع الكرات فوق عينات الإسفلت ضمن الحلقات التي تبقي الكرات في مركز العينة كما هو مبين في الشكل (١٢- ٤).

٣. ابدأ التسخين بحيث ترتفع درجة الحرارة تدريجياً بمعدل ٥ درجات مئوية كل دقيقة.

٤. يستمر التسخين للكرات والعينة حتى تبدأ العينة بالانسياب والهبوط من أسفل الكرة المعدنية، وعندما تلامس العينة اللوحة السفلية تسجل درجة الحرارة.



شكل (١٢- ٤): اختبار قياس نقطة الطراوة.

اختبارات تقييم الإسفلت

تجربة المرونة أو المطولية للبيتومين

Ductility Test of Bitumen

الغرض من التجربة:

تعرف درجة المرونة بقياس المسافة التي تستطيل إليها المادة البيتومينية أثناء شدها بقوة معينة وبسرعة معينة بجهاز المرونة. وتتراوح مرونة البيتومين بين ٥ و ١٠٠ للأنواع المختلفة ويفضل ألاّ تقل قيمة المرونة عن ٥٠ للحصول على رصف جيد لأن زيادة المرونة تمنع المادة من التشقق في الأجواء الباردة.

الأدوات المستخدمة:

١. جهاز المرونة الموضح في الشكل (١٢- ٥).
٢. حمام مائي.
٣. مقياس درجة الحرارة.

خطوات التجربة:

١. يتم تسخين العينة بواسطة الحمام المائي إلى درجة الحرارة ٢٧ درجة مئوية.
٢. تصب العينة داخل جهاز المرونة.
٣. يتم سحب العينة بمعدل ٥٠ مم في الدقيقة.
٤. يتم تسجيل المسافة التي تستطيل إليها العينة قبل انفصالها على ألاّ تمس الجهاز.

شكل (١٢- ٥): جهاز المرونة.

اختبارات تقييم الإسفلت

تجربة اللزوجة الحركية للإسفلت

Kinematics Viscosity Test of Asphalts

الغرض من التجربة:

تجرى هذه التجربة لتحديد درجة اللزوجة الحركية للمواد البيتومينية المستعملة مثل زيوت الطرق والجزء المتبقي من تقطير الإسفلت السائل عند درجة حرارة ٦٠ درجة مئوية والإسفلت شبه الصلب عند درجة حرارة ١٣٥ درجة مئوية. وتكمن أهمية هذه التجربة في أنها تبين مدى سرعة صب المواد البيتومينية المستعملة من الأواني الحاوية لها ومدى سرعة تخللها بين الركام وملؤها للفراغات. وفي هذا الاختبار يقاس الزمن اللازم لانسياب حجم معين من السائل خلال مسار دقيق لمقياس لزوجة شعري ذي أنبوبة شعرية معايرة، وذلك تحت ضغط قابل للتكرار بدقة وعند درجة حرارة متحكم فيها إلى حد كبير. وتحسب اللزوجة الحركية بعد ذلك بضرب زمن الانسياب بالثواني في معامل معايرة مقياس اللزوجة وتقاس بوحدة السنتي ستوك (CST) وتتراوح بين ٦ إلى ١٠٠,٠٠٠ سنتي ستوك.

الأدوات المستخدمة:

١. جهاز قياس اللزوجة الموضح في الشكل (١٢- ٦).
٢. أجهزة قياس درجة الحرارة.
٣. الحمام المائي لغمر مقياس اللزوجة.
٤. أجهزة التوقيت.

شكل (١٢- ٦): جهاز قياس اللزوجة.

خطوات التجربة:

١. يتم صب العينة في مقياس اللزوجة.

٢. يحفظ الحمام عند درجة حرارة الاختبار.

٣. يتم اختيار مقياس لزوجة نظيف وجاف بحيث يعطي زمن انسياب أكبر من ٦٠ ثانية ثم يسخن مسبقاً إلى درجة حرارة الاختبار.

٤. يملأ مقياس اللزوجة بالطريقة المبينة طبقاً لتصميم الجهاز.

٥. يترك مقياس اللزوجة الممتلئ في الحمام مدة كافية حتى يصل إلى درجة حرارة الاختبار.

٦. يبدأ انسياب المادة في مقياس اللزوجة.

٧. يقاس الزمن اللازم لمرور الحافة المتقدمة للسطح الهلالي للسائل من العلامة الأولى إلى العلامة الثانية بدقة ٠,١ ثانية، فإذا قل زمن الانسياب عن ٦٠ ثانية لابد من اختبار مقياس لزوجة آخر ذي قناة شعرية يقل قطرها عن الأولى ثم تكرر العملية.

٨. تحسب اللزوجة الحركية لأقرب ثلاث أرقام صحيحة باستخدام المعادلة التالية: اللزوجة الحركية (سنتي ستوك) = (زمن الانسياب) X (ثابت المعايرة لمقياس اللزوجة).

٩. بعد الانتهاء من الاختبار يتم تنظيف مقياس اللزوجة جيداً.

اختبارات تقييم الإسفلت

تجربة الذوبان
Solubility Test

الغرض من التجربة:

الغرض من هذه التجربة هو معرفة درجة نقاء المواد البيتومينية. ويتم ذلك بإذابة عينة من البيتومين ذات وزن معلوم في ثاني كبرتبور الكربون (Carbon Disulphide).

ومن نتائج هذه التجربة يمكن تحديد وزن البيتومين المذاب والذي يجب ألاّ يقل عن ٩٩٪.

تجربة التطاير
Volatility Test

الغرض من التجربة:

الغرض من هذه التجربة هو معرفة مقدار الفاقد من الزيوت وخلافه الموجود بالمواد البيتومينية عند تسخينها. ولمعرفة الفاقد بالتطاير عند التسخين أهمية كبرى من الوجهة العملية إذ إنه إذا فقد البيتومين عند تسخينه كمية كبيرة من مكوناته وجب استعمال نسبة أكبر منه عند الخلط وإذا فقد كثيراً من مواده المتطايرة وأثر ذلك على خواصه البيتومينية وجعله أكثر صلابة وجب إضافة مواد أخرى إليه بدل المواد المتطايرة حتى يصبح صالحاً للاستعمال. ويسمح عادة بفاقد للمواد المتطايرة لا يزيد عن ½ ٪.

طريقة السوبربيف

Superpave Method

يأتي مصطلح سوبربيف (Superpave) من اختصار عبارة superior performing asphalt pavement. ولقد ابتكرت هذه الطريقة من خلال برنامج بحثي أمريكي يطلق عليه اسم شارب يهدف إلى تصميم خلطات إسفلتية متطورة تأخذ في الحسبان التوقع الحقيقي لأداء الرصف في الطبيعة. وتعتمد طريقة السوبربيف على مجموعة من الاختبارات أهمها:

اختبار إناء ضغط التأثر مع الزمن

Pressure Aging Vessel (PAV) Test

الغرض من الاختبار:

بعد الانتهاء من إنشاء الطرق الإسفلتية تكون معرضة للأكسدة بسبب تأثرها لدرجات الحرارة المختلفة. والهدف من هذا الاختبار هو معرفة مدى تأثير التغيرات في درجات الحرارة على الطبقات الإسفلتية مع مرور الزمن.

الأدوات المستخدمة:

يستخدم في هذا الاختبار إناء ضغط التأثر مع الزمن الموضح في الشكل (١٢- ٧) وهو جهاز مزود بالوظائف التالية:

١. غرفة الضغط.

٢. نظام مراقبة وسيطرة على درجات الحرارة.

٣. وحدة معالجة حاسبية مبينة داخل الجهاز لتخزين بيانات الفحص والتحليل.

٤. برنامج مبني داخل الجهاز بالإضافة إلى شاشة لعرض البيانات.

شكل (١٢- ٧): إناء ضغط التأثر مع الزمن.

خطوات الاختبار:

١. يتم تحضير العينات حسب المواصفات المحددة.

٢. توضع العينة داخل إناء الضغط.

٣. يتم تشغيل الجهاز وتحديد درجة الحرارة الخاصة بالاختبار.

٤. تحمل العينة بالتدريج لمدة ٢٠ ساعة إلى أن يصل الحمل إلى 2 MPa.

٥. يسجل الحمل ودرجة الحرارة خلال كل دقيقة لمدة الاختبار.

طريقة السوبربيف

اختبار مقياس اللزوجة الدوراني

Rotational Viscometer (RV) Test

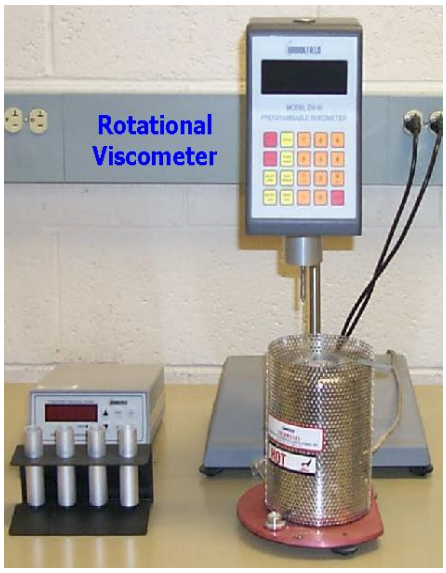
الغرض من الاختبار:

يستخدم هذا الاختبار لتقويم القابلية للتشغيل للخلطات الإسفلتية الساخنة. وتقاس القابلية للتشغيل للتأكد من سيولة الإسفلت لدرجة كافية عند الضخ والخلط.

الأدوات المستخدمة:

يستخدم في هذا الاختبار جهاز اللزوجة الدوراني الموضح في الشكل (١٢- ٨) وهو مزود بالوظائف التالية:

١. نظام مراقبة وسيطرة على درجة حرارة العينة الإسفلتية.
٢. وحدة معالجة حاسبية مبينة داخل الجهاز لتخزين بيانات الفحص والتحليل.
٣. برنامج مبني داخل الجهاز بالإضافة إلى شاشة لعرض البيانات.



شكل (١٢- ٨): جهاز اللزوجة الدوراني.

خطوات الاختبار:

هنـاك بعض المواصفات التي يجب توافرهـا في هذا الاختبار مثل:

١. أن يكون مدى قياس اللزوجة بين ٣ إلى ٦٠٠ ملي باسكال في الثانية.
٢. مدى السرعة بين (٠ – ٢٥٠ دورة في الدقيقة) وبزيادة مرحلية تساوي ١,٠.
٣. تكون الدقة حوالي ١٪ من مدى الاستخدام.
٤. حجم غرفة العينة من (٨ – ١٣) ملليلتر.
٥. تقاس اللزوجة الدورانية بواسطة قياس العزم المطلوب للحصول على سرعة دورانية ثابتة للأسطوانة الدوارة.
٦. يجب أن يتوفر في هذه التجربة برنامج للحاسب الآلي يقوم بالسيطرة على جهاز قياس اللزوجة الدوراني ومنظمات الحرارة وجمع وتخزين بيانات الاختبار مع عمل التحليل اللازم لها.
٧. يجب أن تحتوي غرفة تنظيم الحرارة على:
   - أدوات للصف.
   - أدوات لاستخلاص العينة و أدوات لتبريدها.
   - مثبت لغرفة العينة مع غطاء عازل للغرفة.
   - مسمار ووردة لربط عمود الدوران.

طريقة السوبربيف

تجربة ريومتر القص الحركي الديناميكي

Dynamic Shear Rheometer (DSR) Test

الغرض من الاختبار:

تجرى هذه التجربة لأغراض المواصفات ويستخدم فيها جهاز القص الديناميكي وهو جهاز يقيس معامل التركيب وزاوية المرحلة للمواد الإسفلتية الرابطة عند درجة حرارة متوسطة وعليا لطبقات الإسفلت المستخدمة بشكل متكرر يصل إلى ١٠ راديان في الثانية الواحدة.

الأدوات المستخدمة:

١. جهاز ريومتر القص الديناميكي الموضح في الشكل (١٢- ٩).
٢. غرفة لضبط بيئة الفحص.
٣. حاسب آلي.
٤. برنامج خاص بالاختبار.

شكل (١٢- ٩): جهاز ريومتر القص الديناميكي.

خطوات الاختبار:

يجب أن يعمل جهاز القص الديناميكي حسب المواصفة القياسية ويمكن ضبطه وتشغيله باستخدام حاسب آلي وأن يحتوي على ما يلي:

١. أن يعمل بمدى ترددات من ١٠ إلى ٢٠ هرتز (أقصى حد ١٠٠ راد للثانية) مع فترات تأخير خاصة يمكن اختيارها لكل تردد.

٢. أن يكون مزوداً بمحلل إجهاد يصل إلى ٥٠ ميكرو راد.

٣. يجب أن يقوم بفحص وتحليل متعاقب عند مدى لترددات تحدد باستخدام لوحة أبعادية، ومقاييس الإجهادات إلى حد ٢٪ من قيمة (G) التي تصل إلى ١ كيلو باسكال.

٤. يجب أن تكون الألواح قابلة للنقل والتحريك وأن يتراوح قطرها من ٦ ملم إلى ٤٠ ملم حسب الحاجة. ويجب تأمين مجموعتين ذات قطرين ٨ ملم و٢٥ ملم للوح القاعدة.

طريقة السوبربيف

اختبار ريوميتر الكمرة المنحنية

Bending Beam Rheometer (BBR) Test

الغرض من الاختبار:

تتأثر الطبقات الإسفلتية للانخفاضات الكبيرة في درجات الحرارة وقد يؤدي ذلك إلى حدوث تقلص وتشققات فيها. ويهدف اختبار ريوميتر الكمرة المنحنية لمعرفة مدى تأثير انخفاض درجات الحرارة على سلوك المواد الإسفلتية وهو من الاختبارات التي تجرى خاصة في البلدان التي تنخفض فيها درجات الحرارة بدرجة كبيرة.

الأدوات المستخدمة:

١. جهاز ريوميتر الكمرة المنحنية الموضح في الشكل (١٢- ١٠).
٢. غرفة لضبط بيئة الفحص.
٣. حاسب آلي.
٤. برنامج خاص بالاختبار.

شكل (١٢- ١٠): جهاز ريوميتر الكمرة المنحنية.

خطوات الاختبار:

١. يجب أن يعمل جهاز ريوميتر الكمرة المنحنية حسب المواصفة الخاصة به ويمكن ضبطه وتشغيله باستخدام حاسب آلي.
٢. توضع عينة من المادة الإسفلتية على شكل كمرة داخل الجهاز.
٣. يتم ضبط درجة الحرارة حسب مواصفات الاختبار.
٤. تحمل العينة بحمل ثابت في مركزها لمدة ٤ دقائق.
٥. يحسب الزحف الناتج عن الحمل.

طريقة السوبربيف

اختبار الشد المباشر

Direct Tension (DT) Test

الغرض من الاختبار:

يهدف اختبار الشد المباشر لمعرفة سلوك المواد الإسفلتية عندما تتعرض لدرجات حرارة منخفضة جداً وهو من الاختبارات التي تجرى خاصة في البلدان التي تنخفض فيها درجات الحرارة بدرجة كبيرة (من ٠ إلى – ٣٠ درجة مئوية).

الأدوات المستخدمة:

١. جهاز الشد المباشر الموضح في الشكل (١٢- ١١).
٢. غرفة لضبط بيئة الفحص.
٣. حاسب آلي.
٤. برنامج خاص بالجهاز.

شكل (١٢- ١١): جهاز الشد المباشر.

خطوات الاختبار:

١. يجب أن يعمل جهاز الشد المباشر حسب المواصفة الخاصة به ويمكن ضبطه وتشغيله باستخدام حاسب آلي.
٢. توضع العينة الإسفلتية داخل الجهاز.
٣. يتم ضبط درجة الحرارة حسب مواصفات الاختبار.
٤. يتم تحميل العينة بحمل شد إلى أن تنهار.
٥. تحسب الاستطالة الناتجة عن الحمل.

اختبارات تقييم الركام وتربة الأساس

اختبار التآكل أو البري للمواد الخشنة

Aggregates Abrasion Test

الغرض من الاختبار:

يتعرض الركام المستخدم في السطح للتآكل والبري بسبب حركة المركبات، وعليه فيجب أن يكون صلداً ومقاوماً للتآكل مع الزمن. ويعتبر اختبار التآكل من أهم الاختبارات التي تجرى على الركام الخشن لتحديد مدى قوته وصلادته.

الأدوات المستخدمة:

١. يستخدم في هذا الاختبار جهاز لوس انجلوس للتآكل الموضح في الشكل (١٢- ١٢) وهو عبارة عن أسطوانة من الصلب مفرغة ومقفلة الجانبين يمكنها الدوران حول محورها الأفقي.
٢. منخل رقم ٨ ومنخل رقم ١٢.
٣. جهاز أوتوماتيكي للنخل.
٤. ميزان حساس.
٥. **مجموعة كرات من الصلب (قطرها حوالي ٣,٨ مم ووزنها بين ٣٩٠- ٤٤٥ جم).**

شكل (١٢- ١٢): جهاز لوس انجلوس للتآكل.

خطوات الاختبار:

١. توضع عينة من الركام الخشن المحجوز على المنخل رقم ٨ داخل الأسطوانة.

٢. يضاف إلى العينة عدد من الكرات (الصلب).

٣. تدار الأسطوانة بسرعة تتراوح بين ٣٠ و ٣٣ دورة في الدقيقة لعدد كلي يتراوح بين ٥٠٠ و ١٠٠٠ دورة.

٤. بعد إجراء الاختبار تهز العينة على المنخل رقم ١٢ ويحسب الفرق بين وزن العينة الأصلي والوزن المحجوز على المنخل وهو مقدار البري أو التآكل، ويعبر عنه بالنسبة المئوية من الوزن الأصلي.

اختبارات تقييم الركام وتربة الأساس

تجربة مقاومة الركام للصدم

Aggregates Impact Resistance Test

الغرض من الاختبار:

الغرض من هذه التجربة هو قياس صلابة الركام أو مقاومته للكسر تحت الصدمات المتكررة.

الأدوات المستخدمة:

١. جهاز الصدم الموضح في الشكل (١٢- ١٣) ويتكون من قاعدة ووعاء أسطواني قطره الداخلي ١٠,٢ سم وعمقه ٥ سم حيث توضع بداخله العينة.
٢. مطرقة من حديد وزنها ١٤ كجم تسقط سقوطاً حراً من ارتفاع ٣٨ سم على سطح العينات.

خطوات الاختبار:

١. تجهز العينة ويتم تمريرها من منخل ١٢,٥ مم وتحجز على منخل ١٠ مم.
٢. توضع العينة في المكيال على ثلاث طبقات وتدك كل طبقة ٢٥ مرة بقضيب الغز.
٣. تنقل العينة إلى الوعاء الأسطواني ويتم دكها ٢٥ مرة.
٤. ترفع المطرقة ٣٨ سم فوق سطح العينة ثم تترك لتسقط فوق العينة ١٥ مرة.
٥. تنخل العينة على منخل ٢,٣٦ سم.

تقاس درجة الصلابة بنسبة المواد الناعمة المتكونة إلى الوزن الكلي للعينة، فإذا كانت:

- درجة الصلابة أقل من ١٠٪ يعتبر الركام جيد جدا.
- درجة الصلابة من ١٠- ٢٠٪ يعتبر الركام جيداً.

- درجة الصلابة من ٢٠- ٣٠٪ يعتبر الركام مقبولاً.

شكل (١٢- ١٣): جهاز الصدم.

اختبارات تقييم الركام وتربة الأساس

اختبارات الدمك

Compaction Tests

الغرض من الاختبار:

الغرض الرئيس من اختبارات الدمك في المعمل هو تعيين الكثافة الجافة القصوى ونسبة الرطوبة المثالية ليتم تطبيقها في الموقع.

الأدوات المستخدمة:

١. أجهزة الدمك **المبينة في الشكل** (**١٢- ١٤**): قالب مع قاعدته وطوقه ومطرقة.
٢. منخل رقم (٤).
٣. صينية خلط كبيرة.
٤. وعاء تجفيف.
٥. ميزان كبير يزن إلى 20 kg
٦. ميزان صغير لا تقل درجة دقته عن 0.1 gm
٧. فرن تجفيف بدرجة حرارة ١١٠ ± ٥ درجة مئوية.
٨. مغرفة وسكين تسوية.
٩. علب لتحديد المحتوى المائي.

شكل (١٢- ١٤): جهاز الدمك (بروكتور).

أ - اختبار بروكتور القياسي Standard Proctor Test

خطوات الاختبار:

١. ضع العينة في صينية الخلط وابدأ في خلطها وتفتيت حبيباتها بواسطة اليد.
٢. مرر العينة على منخل رقم (٤) للتأكد أن أكثر من ٨٠٪ منها قد تجاوز هذا المنخل، وإلا أعد خلط وتفتيت التربة.
٣. أوزن القالب فارغاً مع قاعدته وبدون الطوق العلوي، باستخدام الميزان الكبير.
٤. ثبت الطوق على القالب بإحكام.
٥. ضع جزءًا من عينة التربة في القالب بحيث تغطي حوالي ثلث حجم القالب وبسمك يتراوح بين 5 cm و 7 cm.
٦. ادمك التربة في القالب بواسطة المطرقة التي وزنها 2.5 kg وارتفاع سقوطها 30.5 cm، وبعدد ٢٥ ضربة موزعة على سطح التربة.
٧. اعمل شروخاً أو تشققات في سطح الطبقة المدكوكة بسمك نصف سنتيمتر تقريباً بواسطة سكين، ثم أضف الثلث الثاني من التربة ودكها بنفس الطريقة الموضحة في الخطوة (٧).

٨. اعمل شروخاً مرة أخرى في سطح الطبقة المدكوكة بسمك نصف سنتيمتر تقريباً بواسطة سكين، ثم أضف الثلث الأخير من التربة بحيث تغطي كامل القالب بما فيه الطوق، ودكها بنفس الطريقة الموضحة في الخطوة (٧).
٩. أزل الطوق بعناية حتى لا تتفتت التربة المدكوكة، ثم أزل التربة الزائدة عن ارتفاع القالب بحافة السكين حتى يتساوى سطح التربة مع حافة القالب تماماً.
١٠. أوزن التربة مع قاعدته والتربة الموجودة به.
١١. أخرج العينة من القالب، وقد تحتاج إلى جهاز استخراج العينات.
١٢. حدد المحتوى المائي للتربة بأخذ عينة من أعلى ووسط وأسفل التربة المدكوكة.
١٣. كرر الخطوات من (٦) إلى (١٣) بزيادة المحتوى المائي في كل مرة بنسبة ٣٪ تقريباً حتى تبدأ الكثافة الجافة للتربة في النقصان.

ب - اختبار بروكتور المعدل Modified Proctor Test

خطوات الاختبار:

١. اتبع الخطوات من (١) إلى (٥) المبينة في طريقة عمل اختبار بروكتور القياسي.
٢. ضع جزءًا من التربة بحيث تغطي خمس القالب بعد الدمك.
٣. ادمك التربة في القالب بواسطة المطرقة التي وزنها 4.54 kg وارتفاع سقوطها 45.72 cm، وبعدد ٢٥ ضربة موزعة على سطح التربة.
٤. اعمل شروخاً أو تشققات في سطح الطبقة المدكوكة بسمك نصف سنتيمتر تقريباً بواسطة سكين، ثم أضف الخمس الثاني من التربة ودكها بنفس الطريقة الموضحة في الخطوة (٣).
٥. كرر العملية نفسها حتى الطبقة الخامسة.
٦. اتبع نفس العمليات الموضحة في اختبار بروكتور القياسي وذلك من الخطوة (١٠) إلى (١٣).
٧. كرر الطريقة بزيادة المحتوى المائي لعينة التربة بنسبة ٣٪ تقريباً في كل مرة حتى تبدأ الكثافة الجافة للتربة في النقصان.

العمليات الحسابية:

يكمن الهدف من تجربة الدمك في تحديد أقصى كثافة جافة ($\gamma_{d-\max}$) maximum dry density ونسبة المياه الحرجة (OMC) optimum moisture content المناظرة لها، ويتم ذلك برسم الكثافة الجافة مع المحتوى المائي بعد تحديدهما من خطوات التجربة. ويتم حساب الكثافة الجافة من العلاقة:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$
$$= \frac{W}{V\left(1+\frac{w}{100}\right)}$$

حيث:

W_s = وزن حبيبات التربة الصلبة في القالب

V = حجم القالب

W = وزن التربة الرطبة في القالب

w = المحتوى المائي للتربة المدكوكة

اختبارات تقييم الركام وتربة الأساس

اختبار تحديد نسبة تحمل كاليفورنيا

California Bearing Ratio (CBR) Test

الغرض من الاختبار:

تجرى هذه التجربة مع منحنيات قياسية أخرى لتصميم سمك طبقات الرصف وللتأكد من مدى تحمل التربة وطبقات الرصف للأحمال الناتجة عن حجم المرور.

الأدوات المستخدمة:

١. جهاز CBR لقياس الضغط المبين في الشكل (١٢- ١٥).
٢. قالب دمك أسطواني قطره الداخلي ١٥ سم وارتفاعه ١٨ سم.
٣. مطرقة دمك وزنها ٤,٥٣ كجم تسقط من ارتفاع ٤٥,٨ سم..
٤. حلقة وقاعدة.
٥. أداة قياس الانتفاخ مع مؤشر وأوزان.
٦. ميزان.
٧. فرن تجفيف.

خطوات الاختبار:

١. يتم تجهيز حوالي ١٢ كيلو جرام من التربة المارة من منخل رقم (٤).
٢. تخلط العينة مع كمية الماء المناسبة تبعاً للمحتوى المائي المطلوب.
٣. توضع العينة في القالب وتدمك بالمطرقة ٥٥ دقة ويتم تحديد الكثافة الجافة القصوى.
٤. تحمل العينة بمجموعة من الأوزان كافية لا تقل عن ٤,٥ كجم (تعادل وزن ضغط التربة عليها في الطبيعة).

٥. تغمر العينة تماماً بالماء وهي مازالت في القالب لمدة ٤ أيام ويتم قياس مقدار الانتفاخ بعد مرور ٠، ١، ٢، ٤، ٨، ١٢، ٢٤، ٣٦، ٤٨، ٧٢، ٩٦ ساعة.

٦. بعد الانتهاء من تحديد مقدار الانتفاخ تترك العينة لمدة ١٥ دقيقة لخروج الماء ثم يحسب وزنها مع القالب.

٧. توضع العينة بعد ذلك في آلة قياس الضغط وعليها حمل يعادل وزن سمك الرصف (لا يزيد عن ٤,٥ كجم) ويدفع المكبس بمعدل ١,٢٥ مم / الدقيقة ويسجل الحمل عند غرز مقداره ٢,٥، ٥، ٧,٥، ١٠، ١٢,٥ مم .

٨. بعد الانتهاء من الاختبار يتم استخراج العينة وأخذ عينات من الثلث الأول والوسط والثلث الأخير لتحديد المحتوى المائي للتربة المدموكة.

٩. يرسم منحنى الضغط (كجم / سم^2) مع الاختراق (مم) كما هو مبين في الشكل (١٢- ١٦) ثم يسجل مقدار الضغط عند الاختراق ٢,٥ و ٥,٠ مم.

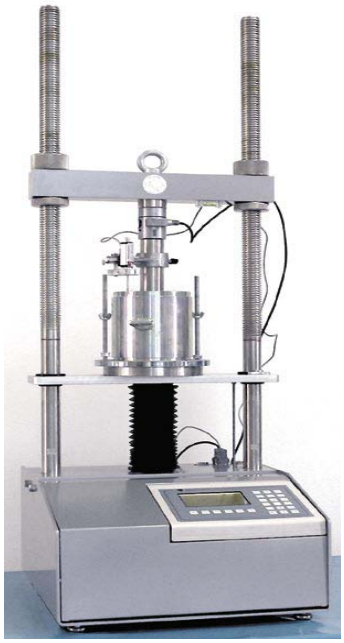
١٠.تحسب قيمة CBR من العلاقة التالية:

$$CBR(\%) = \frac{\text{الحمل المسبب لاختراق 2.5 مم للعينة عند التجربة}}{\text{الحمل المسبب لاختراق 2.5 مم لعينة من الأحجار القياسية}} \times 100$$

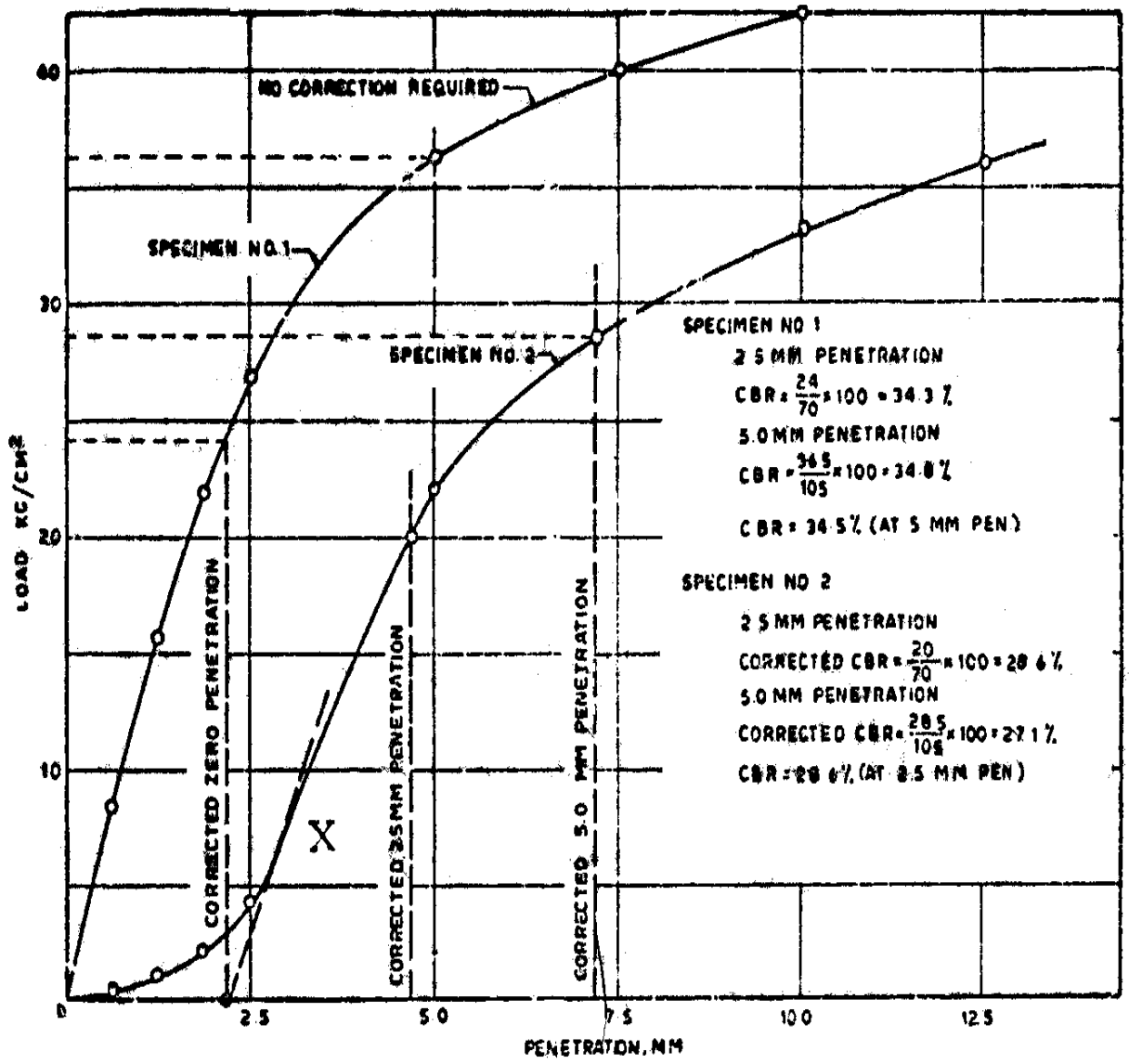
الجدول رقم (١) يعطي البيانات الخاصة بتجربة CBR على عينات من الأحجار المكسرة القياسية:

جدول رقم (١) قيم CBR لعينات من أحجار مكسرة قياسية.

مقدار الغرز (مم)	الحمل القياسي (كجم)	الضغط القياسي (كجم / سم^2)
٢,٥	١٣٧٠	٧٠
٥	٢٠٥٥	١٠٥
٧,٥	٢٦٣٠	١٣٤
١٠	٣١٧٠	١٦٢
١٢,٥	٣٦٠٠	١٨٣



شكل (١٢- ١٥): جهاز CBR.



Load-Penetration Curve in C.B.R Test

شكل (١٢- ١٦): منحنى الغرز لقياس نسبة كاليفورنيا للتحميل.

اختبارات الخلطة الإسفلتية

تصميم الخلطات الإسفلتية بطريقة مارشال

Marshall Method of Design

تستخدم معظم هيئات الطرق طريقة مارشال لتصميم الخلطات الإسفلتية، وتعطي هذه الطريقة خلطات إسفلتية اقتصادية تتميز بالخواص الآتية:

١. نسبة إسفلت كافية لضمان ديمومة ومرونة الخلطة.
٢. فراغات هوائية كافية تسمح باستيعاب الإسفلت.
٣. قوة كافية لمقاومة حركة المرور دون حدوث أي تشوهات في الطبقة.
٤. القابلية لسهولة التعامل.

اختبار مارشال

Marshall Test

الغرض من الاختبار:

١. تصميم خلطة إسفلتية بمواصفات قياسية علمية.
٢. تعيين نسبة البيتومين المثلى التي تجب إضافتها للخلطة الإسفلتية.
٣. الوصول إلى أقل قيمة في الفاقد في الثبات يطابق المواصفات.
٤. تعيين مقدار للانسياب يطابق المواصفات.
٥. تعيين مقدار الفراغات الهوائية والفراغات المملوءة بالبيتومين حسب المواصفات القياسية.

الأدوات المستخدمة:

١. جهاز مارشال الموضح على الشكل (١٢- ١٧).
٢. حلقة قياس قوة الضغط بقدرة ٢٢٧٦ كجم.
٣. قوالب أسطوانية قطرها ١٠١,٦ مم وارتفاعها ٧٦,٢ مم.

٤. جهاز لإخراج العينة من القالب.

٥. مطرقة وزنها ٤,٥٣ كجم تسقط من ارتفاع ٤٥,٨ سم.

٦. قاعدة دمك خشبية.

٧. رأس الكسر.

٨. خلاطة ميكانيكية، فرن، وحمام مائي، أوعية وعلب، وأدوات مختلفة.

تحضير العينات:

لإجراء الاختبار نتبع الخطوات التالية:

١. يتم تجهيز كميات كافية من الركام تكفي لتحضير ٣ عينات (لكل نسبة من نسب البيتومين تمثل محاولة واحدة)، يكون وزن كل كمية في حدود ١٢٠٠ جرام.

٢. يجفف الركام في درجة حرارة من ١٠٥ إلى ١١٠ درجة مئوية لمدة ٢٤ ساعة.

٣. يفصل الركام بعد تبريده على المناخل ٢٥، ١٩، ٩,٥، ٤,٧٥، ٢,٣٦، ١,١٨ مم .

٤. تحدد درجة الحرارة اللازمة لتسخين البيتومين للخلط بأنها التي تجعل لزوجة الإسفلت ١٧٠ ± ٢٠ سنتي ستوك (CST) أما الحرارة اللازمة للدمك فهي التي تكون فيها اللزوجة مقدارها ٢٨٠ ± ٣٠ سنتي ستوك (CST) (تتراوح مابين ١٦٠ و ١٦٥ درجة مئوية).

٥. يتم اختيار الوزن من كل مقاس من المقاسات المفصولة حسب نسبة هذا المقاس من الوزن الكلي بحيث يكون الوزن الكلي للركام للعينة الواحدة ما يقارب ١٢٠٠ جم ويعطي هذا الوزن بعد خلطه بالإسفلت ودمكه عينة ارتفاعها ٦٣,٥ ± ١,٢٧ مم وقطرها 101.6 مم. وتحضر ٣ عينات من هذا الوزن لكل نسبة بيتومين.

٦. تسخن عينات الركام في الفرن لدرجة حرارة لا تزيد عما حدد في الفقرة ٤ ثم توضع في الخلاطة وتخلط جيداً، ثم تحفر حفرة في الركام ويضاف الإسفلت الساخن بالكمية المحددة (٤٪، ٤,٥٪، ٥٪، ٥,٥٪، ٦٪، ٦,٥٪، ٧٪)، وتخلط المكونات حتى تصبح جميع الحبيبات مغلفة بالإسفلت.

٧. توضع الخلطة الحاوية للإسفلت المحلول في فرن درجة حرارته أعلى من حرارة الدمك المحددة في الفقرة ٤ بمدة كافية لتفقد العينة حوالي ٥٠٪ من المواد المتطايرة، ويمكن التحريك لتسهيل

التبخر، ويحسب وزن العينات على فترات كل ١٥ دقيقة ثم كل ١٠ دقائق حتى يصبح الفقدان للمواد المتطايرة ٥٠ ٪.

شكل (١٢- ١٧): جهاز مارشال.

دمك العينات:

١. ينظف القالب ومطرقة الدمك ثم يسخنان إما في ماء مغلي أو لوحة معدنية ساخنة في درجة حرارة ٩٠ – ١٥٠ درجة مئوية.

٢. توضع العينة في القالب وتدمك بالسكين ١٥ مرة حول محيط القالب و ١٠ مرات في القالب داخل الحلقة.

٣. ترفع الحلقة ويجعل سطح العينة على شكل كروي ثم تعاد الحلقة ويوضع القالب على القاعدة الخشبية وتدمك العينة ٧٥ أو ٥٠ ضربة (حسب نوع المرور لطبقة الرصف) بالمطرقة على أن يكون محور المطرقة عمودياً قدر الإمكان على مستوى القاعدة.

٤. يقلب القالب والعينة ويعاد الدمك بنفس عدد الضربات.

٥. يرفع القالب ويوضع فوق الحلقة ويطرق طرقاً خفيفاً جداً يكفي لإخراج العينة في الحلقة، ثم ترفع الحلقة من العينة وتوضع العينة على أرضية صلبة مستوية لمدة ليلة ثم توزن وتقاس أبعادها.

خطوات الاختبار:

١. تغمر العينات التي تم دمكها وبردت وتم اختبار كثافتها في حمام مائي لمدة (٣٠ – ٤٠) دقيقة عند درجة حرارة ٦٠ درجة مئوية.

٢. ينظف رأس الكسر والقضبان ويشحن القضيبان على القضبان حتى تنزلق في الجزء العلوي بسهولة.

٣. تخرج العينة من الحمام ويجفف سطحها وتوضع في الجزء السفلي من رأس الكسر ويوضع الجزء العلوي فوق العينة ويوضع الجميع على جهاز الكسر. ثم يوضع جهاز قياس الانسياب على أحد القضيبين ويضبط على الصفر ويثبت جهاز القياس جيداً أثناء الاختبار.

٤. يشغل المحرك بسرعة ثابتة مقدارها ٥٠,٨ مم لكل دقيقة حتى يصل المؤشر إلى أقصى قراءة ويبدأ بالرجوع.

٥. يقاس الضغط وتحول القراءات إلى وحدات الضغط وتسجل قراءة الانسياب عندما يصل الحمل إلى الحد الأقصى ويبدأ بالرجوع (يجب ألا يستغرق الاختبار أكثر من ٣٠ ثانية من لحظة وضع العينة في رأس الكسر حتى النهاية) ويسجل الانسياب حسب العداد ٠,٠١ مم أو ٠,٢٥٤ مم.

٦. بعد مضي ٢٤ ساعة يتم إخراج باقي العينات ويجفف سطحها ويجرى عليها الاختبار ويتم تسجيل قراءة المؤشر عند الانهيار ومنه يوجد الفاقد في الثبات.

٧. تكرر هذه الخطوات لجميع العينات بنسب البيتومين المختلفة (٤٪، ٤,٥٪، ٥٪، ٥,٥٪، ٦٪، ٦,٥٪، ٧٪) وذلك للحصول على أكبر قيمة لثبات الخلطة ومقدار الانسياب وكذلك الفراغات الهوائية والمملوءة بالبيتومين في حدود المواصفات القياسية.

العمليات الحسابية:

١. تحسب كثافة العينات (جم / سم^3) ويتم حساب معدل الكثافة لكل ثلاث عينات على نسبة البيتومين الواحدة. ثم يرسم الشكل الذي يبين العلاقة بين نسبة البيتومين (على محور السينات) والكثافة المقابلة لها (على محور الصادات).

$$\text{الكثافة الكلية} = \frac{\text{وزن العينة في الهواء الجاف}}{\text{الحجم}}$$

٢. تحسب الفراغات في الركام والفراغات الهوائية ويتم عمل أشكال تبين العلاقة بين نسبة البيتومين (محور السينات) والفراغات الهوائية (٪) والفراغات في الركام المملوءة بالبيتومين (٪).

٣. ترسم العلاقة بين نسبة البيتومين ومعدل القوة (ثبات مارشال) (ثلاث عينات)، ويرسم شكلٌ يبين العلاقة بين نسبة البيتومين ومعدل الانسياب (ثلاث عينات).

$$\text{الفاقد في الثبات} = \frac{\text{الثبات بعد 30 دقيقة - الثبات بعد 24 ساعة}}{\text{الثبات بعد 30 دقيقة}} \times 100$$

٤. يتم تحديد نسبة البيتومين التي تحقق أعلى كثافة وأعلى ثبات وفراغات هوائية عند منتصف المواصفات. أي إذا كانت المواصفات للفراغات الهوائية من ٣ إلى ٥٪ تكون النقطة التي يتم تحديد نسبة البيتومين عندها لشكل الفراغات الهوائية هي ٤ ٪.

٥. يحسب معدل القراءات الثلاث لنسب البيتومين ويدقق إذا كانت هذه النسبة (معدل) تحقق شروط الانسياب المطلوبة والفراغات المطلوبة.

٦. إذا لم تحقق الشروط فيعدل في اختيار هذه النسبة بالزيادة أو النقصان حتى الوصول إلى النسبة التي تحقق الشروط المطلوبة.

٧. تنص المواصفات والمقاييس على أن:

- الثبات ١٠٠٠ كجم كحد أدنى.
- التدفق من ٢,٤ إلى ٥ مم كحد أقصى.
- الفاقد في الثبات ٢٥ كحد أعلى.

اختبارات الخلطة الإسفلتية

تصميم الخلطات الإسفلتية بطريقة السوبربيف

Superpave Method of Design

الغرض من الاختبار:

تعتبر طريقة السوبربيف من الطرق الحديثة لتصميم الخلطات الإسفلتية وتعتمد على الدمك المعملي واختبارات الخواص الميكانيكية للخلطة الإسفلتية لتوقع الأداء المستقبلي للخلطة التصميمية. ونتائج هذه الاختبارات تؤدي إلى عمل توقع لأداء الرصف في الطبيعة بدلالة أحمال المحاور المكافئة أو الوقت اللازم للوصول إلى درجة تخدد معين أو شروخ كلال أو شروخ انكماش. هذا النظام الخاص بالخليط المتكامل والتحليل الإنشائي يتيح للمصمم تقويم ومقارنة التكاليف المرتبطة باستعمال مواد مختلفة وخلطات مختلفة.

اختبار الدمك الدوراني

Gyratory Compaction Test

الأجهزة المستخدمة:

١. يستخدم في هذا الاختبار جهاز الدمك الدوراني (Gyratory Compactor) المبين في الشكل (١٢- ١٨)، ويتم بواسطته دمك العينات المصممة حسب عملية الدمك المتوقعة في الحقل.

٢. قوالب أسطوانية خاصة بدمك العينات.

الشكل (١٢- ١٨): جهاز الدمك الدوراني.

خطوات الاختبار:

٢. يتم تحضير ٦ عينات من الخلطة الإسفلتية حسب الطريقة التالية:

- ٢ منها تحتوي على نسبة إسفلت حسب المعادلة التصميمية المقترحة.
- ٢ تحتوي على نسبة إسفلت زائدة ب ٠,٥٪ على النسبة التصميمية.
- ٢ تحتوي على نسبة إسفلت أقل ب ٠,٥٪ عن النسبة التصميمية.

٦. توضع العينات في القوالب الخاصة بالدمك ثم توضع في جهاز الدمك الدوراني.

٧. يشغل الجهاز وتدمك العينات حسب المواصفات المخصصة بالدمك المتوقع في الحقل.

٨. يتم تحديد كثافة الخلطات التي تم اختبارها.

٩. تحسب نسبة الإسفلت المثالية التي تعطي نسبة فراغات أقل من ٤٪.

وضع العينة في جهاز الدمك الدوراني

تشغيل الجهاز

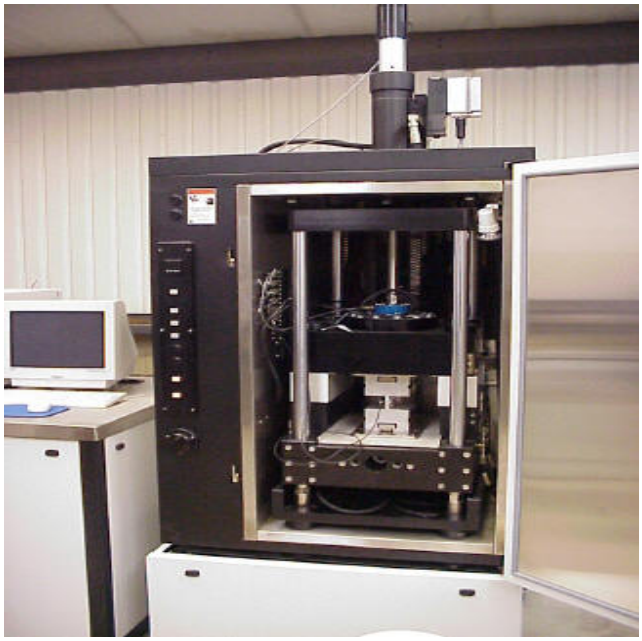
استخراج العينة بعد الدمك

وتجرى كذلك على العينات المصممة مجموعة من الاختبارات الأخرى، تعطي نتائجها مؤشراً مباشراً لسلوك الخلطات الإسفلتية في المستقبل. ويستخدم في هذه الاختبارات:

- جهاز الشد غير المباشر المبين في الشكل (١٢- ١٩).

- جهاز السوبربيف للقص المبين في الشكل (١٢- ٢٠).

شكل (١٢- ١٩): جهاز الشد غير المباشر



شكل (١٢- ٢٠): جهاز السوبربيف للقص

ويجرى بهذين الجهازين الاختبارات التالية:

١. **اختبار الشد غير المباشر:**

٢. يقيس هذا الاختبار تأثير الزحف ومقاومة خليط الإسفلت باستخدام تقنية تحميل العينة بأحمال شد عند درجات الحرارة المتوسطة والمنخفضة (أقل من ٢٠ درجة مئوية) ويشمل اختبار الشد تطبيق حمل ضغط عبر قطر العينة الأسطوانية.

٣. **الاختبار الحجمي:**

تستخدم نتائج هذا الاختبار لتحليل التشكلات المستديمة وشروخ الكلال وتستخدم ثلاث مستويات من الضغوط تعتمد على درجات الحرارة.

٤. **اختبار الانفعال وحيد المحور:**

يستخدم هذا الاختبار لتحليل التشكلات المستديمة وشروخ الكلال أيضا مثل الاختبار الحجمي. ويتم تطبيق الضغوط المحورية على العينة بينما تحاول العينة زيادة محيطها، وتقاس التشكلات المحورية في كلا الجانبين كما يتم قياس الأحمال الرأسية أيضاً.

٥. **اختبار القص المتكرر عند نسبة ضغط ثابتة:**

يتم إجراء هذا الاختبار لكل من التحليل الكامل أو الجزئي لتحديد مدى مقاومة الخليط الإسفلتي لحدوث تخدد ثلاثي، ويحدث هذا النوع من التخدد عند محتوى هوائي قليل مع عدم اتزان الخليط الإسفلتي الكلي. ودرجة الحرارة المستخدمة في الاختبار عبارة عن درجة حرارة تحكم في التشكل المستديم، ويتم حسابها على أساس حالة المرور المتوقعة والظروف الجوية للمشروع.

٦. **اختبار القص البسيط عند ارتفاع ثابت:**

يستخدم هذا الاختبار للتحليل المتوسط والكامل للتشكل المستديم وشروخ الكلال، ويتم التحكم في إجهادات القص التي تطبق على عينة الاختبار وتسبب زيادة في طول العينة. ويتم إجراء هذا الاختبار عند ضغوط ودرجات حرارة مختلفة في كل من التحليل المتوسط والكامل.

٧. **اختبار التحميل التكراري عند ارتفاع ثابت:** يستخدم هذا الاختبار للتحليل المتوسط والكامل للتشكل المستديم وشروخ الكلال ويتم تطبيق تحميل متكرر على العينة للحصول على أقصى انفعال بمقدار ٠,٠٠٥ ٪ ويتم إجراء حوالي مائة دورة للاختبار عند ترددات مختلفة. كما يتم

إجراء الاختبار عند درجات حرارة مختلفة ويتم قياس الحمل المحوري والقصي والتشكلات ويتم تسجيلها.

اختبارات الخلطة الإسفلتية

اختبار الاستخلاص لتحديد نسبة الإسفلت وتدرج المواد الصلبة

Bitumen Content Extraction Test

الغرض من الاختبار:

يحدد هذا الاختبار نسبة البيتومين الموجودة في الخلطات الإسفلتية الساخنة ولعينات الإسفلت المستعملة على الطرق، وكذلك التدرج الحبيبي للمواد الصلبة بعد استخلاص الإسفلت. وتستعمل هذه الطريقة من أجل ضبط الجودة وتقييم مطابقة الخلطات القياسية.

الأجهزة المستخدمة:

١. جهاز الاستخلاص المبين في الشكل (١٢- ٢١) يدور بسرعة قصوى مقدارها 3600 دورة في الدقيقة.
٢. ورق ترشيح على هيئة حلقات بمقاس الوعاء.
٣. فرن تجفيف، ولوحة تسخين كهربائية، ووعاء تجفيف.
٤. مخبار مدرج.
٥. مناخل قياسية.
٦. محلول الترايكلورو إيثيلين (Trichloroethylene).
٧. محلول كربونات الأمونيوم ($(NH4)_2\ Co_3$) .

شكل (١٢- ٢١): جهاز استخلاص الإسفلت.

خطوات الاختبار:

١. إذا كانت الخلطة غير لينة لنتمكن من تقسيمها بالمسطرين أو السكينة توضع في الصينية وتسخن حتى يمكن تفكيكها وتقسم بالتربيع حتى نحصل على كمية مناسبة للفحص كما هو مذكور بالجدول (٢).

٢. إذا كانت العينة بها رطوبة نسبتها أكبر من ٠,١٪ فإنه يتم حساب محتوى الرطوبة، وبعد ذلك تؤخذ عينة يكون وزنها حسب المقاس الأكبر الاسمي للركام كما هو مذكور بالجدول (٢) وتوضع في إناء جهاز الاستخلاص.

٣. تغمر العينة الموجودة بالإناء بمحلول الترايكلور والإيثيلين وتترك لمدة لا تزيد عن ساعة حتى يتحلل المزيج

٤. يوضع الإناء والمحلول والعينة في الجهاز وتوضع ورقة الترشيح بعد وزنها على فوهة الإناء ويتم وضع الغطاء بإحكام، ويوضع مخبار تحت فتحة التصريف

٥. يدار الجهاز ببطء في البداية، ثم تزاد سرعته تدريجياً حتى تصل السرعة إلى ٣٦٠٠ دورة في الدقيقة، حتى يتوقف انسياب المحلول من الجهاز، ثم يوقف الجهاز وتوضع ٢٠٠ مم من المحلول،

وتعاد التجربة عدة مرات حتى يصبح السائل الخارج من الجهاز مثل لون القش الفاتح (يكون السائل نظيفاً).

٦. توضع محتويات الإناء في الصينية وتجفف بحمام بخاري ثم توضع بالفرن أو على اللوحة الساخنة في درجة حرارة ١١٠ ± ٥ درجة مئوية حتى ثبات الوزن، ويكون وزن الركام بعد استخلاص الإسفلت يساوي وزن الركام في الصينية + الزيادة في وزن ورقة الترشيح.

٧. يتم تسجيل حجم المحلول الذي تجمع في المخبار المدرج بعد تحريكه بشكل كافٍ ثم يؤخذ منه ١٠٠ مم إلى بوتقة الحرق بعد أن يتم تحديد وزنها فارغاً، وتجفف المحتويات في البوتقة على لوحة معدنية ويحرق الباقي على درجة ٥٠٠ - ٦٠٠ درجة مئوية ثم تبرد وتوزن ويضاف ٥ ملم من محلول كربونات الألمونيوم المشبع لكل جرام من الرماد، ويترك ليذوب لمدة ساعة في درجة حرارة الغرفة، ثم يجفف في درجة حرارة ١٠٠ حتى ثبات الوزن، ثم يبرد ويحسب وزن الرماد وتحسب كتلة المواد الصلبة في الخلاصة ثم تحسب نسبة الإسفلت في العينة.

جدول رقم (٢) وزن العينة حسب المقاس الأكبر الاسمي للركام

أقل وزن للعينة (كجم)	المقاس الاسمي الأكبر للركام (مم)
4.00	37.500
3.00	25.00
2.00	19.00
1.50	12.500
1.00	9.500
0.50	4.75

اختبارات حقلية على مواد الرصف

اختبارات قياس الكثافة في الموقع لطبقات الرصف المختلفة

Field Density Tests

للحكم على جودة الدمك في الموقع لطبقات الرصف المختلفة يتم تعيين الكثافة الجافة لكل طبقة من الطبقات التي تم دمكها ومقارنتها بالكثافة الجافة القصوى التي تم تحديدها في المعمل عن طريق اختبار بروكتور القياسي أو المعدل. وتتم هذه المقارنة بحساب درجة الدمك وهي النسبة بين الكثافة الجافة في الموقع إلى الكثافة الجافة القصوى في المعمل، ويجب أن تكون بين ٩٥ – ١٠٠٪ لطبقة الأساس وطبقة ما تحت الأساس.

طريقة مخروط الرمل

Sand Cone Method

الغرض من الاختبار:

هو تعيين كثافة التربة في الموقع في حالتها الطبيعية أو بعد الدمك لإيجاد نسبة الدمك المطلوبة.

الأدوات المستخدمة:

١. المخروط الرملي المبين في الشكل (١٢- ٢٢).
٢. قاعدة الجهاز بها ثقب.
٣. أدوات حفر وتنظيف.
٤. ميزان حساس.
٥. فرن تجفيف.
٦. أوعية غير منفذة للماء.
٧. ملقاط واقٍ للحرارة.

خطوات الاختبار:

١. يسوى سطح الموقع المراد تحديد الكثافة فيه وتزال جميع المواد السطحية غير المرغوب فيها.

٢. توضع القاعدة الخاصة بالجهاز فوق المكان المراد حساب الكثافة عنده وتحفر حفرة بقطر الثقب وبعمق الطبقة المدموكة.

٣. يجمع ناتج الحفر في وعاء غير منفذ للماء، ويتم وزن العينة فور إخراجها (W_h).

٤. يوزن القمع الرملي والإناء وهو مملوء بالرمل قبل إجراء التجربة، بعد ذلك يوضع الإناء مع القمع والرمل مقلوباً فوق الحفرة ثم يفتح الصنبور لإنزال الرمل في الحفرة.

٥. بعد امتلاء الحفرة والقمع بالرمل القياسي يقفل الصنبور، ثم يرفع القمع الرملي والإناء ويوزن ما تبقى من الرمل القياسي.

٦. يتم حساب وزن الرمل الذي ملأ الحفرة بعناية تامة (W_{sand}).

٧. يتم تعيين كثافة الرمل القياسي المستخدم في إجراء التجربة (γ_{Sand}).

٨. يتم تعيين حجم الحفرة من خلال وزن وكثافة الرمل ($V = \frac{W_{Sand}}{\gamma_{Sand}}$).

شكل (١٢- ٢٢): مخروط الرمل.

ولحساب درجة الدمك أو الدمك النسبي للطبقة المدموكة نتبع الخطوات التالية:

- حساب الكثافة الرطبة للتربة: $\gamma_h = \frac{W_h}{v}$
- حساب الكثافة الجافة للتربة: $\gamma_d = \frac{\gamma_h}{(w+1)}$
- حساب درجة الدمك: $RC(\%) = \frac{\gamma_{d(field)}}{\gamma_{d-\max(lab)}} \times 100$

اختبارات حقلية على مواد الرصف

عمل جسات لطبقات الرصف باستخدام جهاز أخذ العينات

الغرض من الاختبار:

الجسات هي حفر أرضية في الموقع المراد استكشافه بأعماق مختلفة يمكن من خلالها الحصول على عينات لطبقات الرصف المختلفة للتعرف على نوعيتها وخواصها.

الأدوات المستخدمة:

يمكن تنفيذ الحفر إما يدوياً أو بواسطة معدات آلية الموضحة في الشكل (١٢- ٢٣).

خطوات الاختبار:

يتم الحفر بواسطة لقمة دوارة تبقى في تلامس قوي مع قاع الحفر، وتحمل هذه اللقمة بواسطة مواسير التخريم المجوفة. وتجب تعبئة العينات فور الحصول عليها وحمايتها بطرق مناسبة من الجفاف أو من تغير حجمها أو انزلاقها في الوعاء، وبالنسبة للعينات المأخوذة من التربة المتماسكة والمقطوعة على هيئة مكعبات فإنه يمكن أن تغطى العينات جيداً بطبقة أو أكثر من الشمع، وتوضع كل عينة على حدة في غلاف خارجي له نفس أبعادها من الخشب أو ما شابهه لحمايتها أثناء النقل. في جميع الأحوال يجب تسجيل البيانات التالية عند أخذ العينات:

١. الموقع العام مع إيضاحه على رسم كروكي.
٢. المعلومات العامة عن المشروع.
٣. رقم الحفرة وأبعادها.
٤. عدد العينات وأماكن استخراجها.
٥. تاريخ أخذ العينة وحالة الطقس.
٦. طريقة أخذ العينات.
٧. المساحة أو الكمية التقريبية.

٨. منسوب المياه الجوفية في حالة اكتشافه.

٩. أية معلومات أو ملحوظات أخرى يراها من يقوم على أخذ العينات.

شكل (١٢- ٢٣): عمل جسات لطبقات الرصف.